Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

А.В. ПАНИН

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, НАДЁЖНОСТЬ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

Лабораторный практикум

Рекомендовано редакционно-издательским советом
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство»

Воронеж 2010

УДК 624.014.2(072)
ББК 38.54 я 73
П 156

П 156 **Панин А.В. Долговечность, надёжность, восстановление и усиление конструкций**: лаб. практикум /А.В.Панин; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2010. – 60 с.

ISBN 978-5-89040-274-5

Указана цель работ, приведены краткие сведения из теории и методики оценки долговечности и надёжности стальных конструкций по внешним признакам, описание приборов и установок, применяющихся для оценки технического состояния конструкций. Рассмотрены вопросы методики выполнения проверочных расчётов, проектирования усиления сохраняемых конструкций, расчётной проверки на хрупкую прочность. Приведены примеры решения поставленных задач, контрольные вопросы.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство».

Ил. 14. Табл. 10. Библиогр: 13 назв.

УДК 624.014.2(072)
ББК 38.54 я 73

Рецензенты:
кафедра «Металлические конструкции»
Липецкого государственного технического университета
(зав. кафедрой – д.т.н., проф. В.В.Зверев);
В.В.Малахов (гл. инженер «Агропромпроект ЦЧР»)

ISBN 978-5-89040-274-5

© Панин А.В., 2010
©Воронежский государственный архитектурно- строительный университет, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Повышение надёжности и долговечности строительных стальных конструкций связано с рассмотрением широкого круга технических и экономических вопросов, теоретическая и практическая значимость которых приобретает всё большее значение. В то же время всё чаще ставится задача перепрофилирования предприятий, изменения технологической нагрузки и даже изменения расчётной схемы сооружения.

Здания и сооружения, планирующиеся к реконструкции или ремонту, находятся на разных уровнях технического состояния, поэтому перед экспертами ставится первоначальная задача оценки этого состояния, а также степени надёжности основных несущих конструкций.

Первоначальная оценка долговечности и надёжности стальных конструкций осуществляется по внешним признакам на основе проведенного визуально-инструментального обследования. В частности, оценивается степень влияния выявленных дефектов и повреждений, конструкции классифицируются по категориям технического состояния. При этом, как правило, определяют и количественные показатели надёжности конструкций, а также необходимые сроки проведения капитального ремонта.

На следующем этапе по результатам химического анализа и механических испытаний проводят оценку качества материала конструкций, устанавливают наименование (марку) стали и её расчётное сопротивление и выполняют проверочный расчёт, в том числе и на хрупкую прочность. При необходимости в дальнейшем проектируют усиление сохраняемых конструкций.

Лабораторный практикум включает семь лабораторных работ и предполагает выполнение студентами всего комплекса работ по оценке технического состояния конструкций и проектирования их усиления по предлагаемым результатам выполненных ранее визуально-инструментальных обследований.

Каждая работа содержит краткие теоретические сведения и контрольные вопросы.

Лабораторный практикум подготовлен в соответствии с программой дисциплины «Долговечность, надёжность, восстановление и усиление конструкций» для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство».

Лабораторная работа № 1

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ

1.1. Цель работы

* Изучение основных видов дефектов и повреждений конструкций.

* Оценка влияния выявленных дефектов и повреждений на техническое состояние конструкций.

* Классификация конструкций по категориям их технического состояния.

1.2. Краткие сведения из теории

В соответствии с СП 13-102-2003 собственно обследование строительных конструкций зданий и сооружений проводится, как правило, в два этапа:

- предварительное (визуальное) обследование;
- детальное (инструментальное) обследование.

При **визуальном обследовании** несущих металлических конструкций с необходимыми замерами и их фиксацией определяют:

- общее пространственное положение конструкций и соответствие его проектному;
- наличие разрывов элементов по всему сечению;
- наличие искривлений элементов по всей длине;
- наличие местных механических дефектов (вмятин, искривлений, погибей, трещин или надрывов, пробоин);
- наличие непроектных элементов, отверстий, отсутствие проектных элементов;
- дефекты сварных швов (непровары, шлаковые и газовые включения, кратеры, наплывы, подрезы основного металла, трещины в металле швов и околошовной зоне);
- ослабление крепления или отсутствие болтов и гаек (заклёпок).

Визуальному обследованию подвергаются 100 % конструкций.

При **инструментальном обследовании** металлоконструкций определяют:

- геометрические размеры элементов конструкций;
- фактические размеры сечения элементов, с учетом потерь от коррозии;
- размеры прогибов, искривлений и др. деформаций;
- глубину и размеры коррозионных поражений;
- геометрические размеры сварных швов;
- размеры обнаруженных трещин в элементах конструкции и сварных швах.

Инструментальному обследованию должны подвергаться:

- при общем работоспособном состоянии конструкции – выборочно не менее 10 % каждого вида конструкции;
- аварийные участки конструкций – в полном объеме.

Для определения геометрических размеров элементов применяют:

- рулетки измерительные металлические с точностью не менее 1,0 мм;
- линейки стальные измерительные с точностью не менее 1,0 мм;

Для измерения толщины элементов применяют:

- штангенциркуль с точностью измерений до 0,05 мм;
- скобы с индикаторными головками часового типа с точностью измерений – 0,001 мм;
- ультразвуковые толщиномеры – для измерения в труднодоступных местах.

Определение размеров и выявление дефектов формы сварных швов производятся с помощью шаблонов и стальной линейки; а также по катету путем снятия слепка.

Характерные повреждения строительных конструкций и их соединений представлены на рис. 1.1 – 1.5.

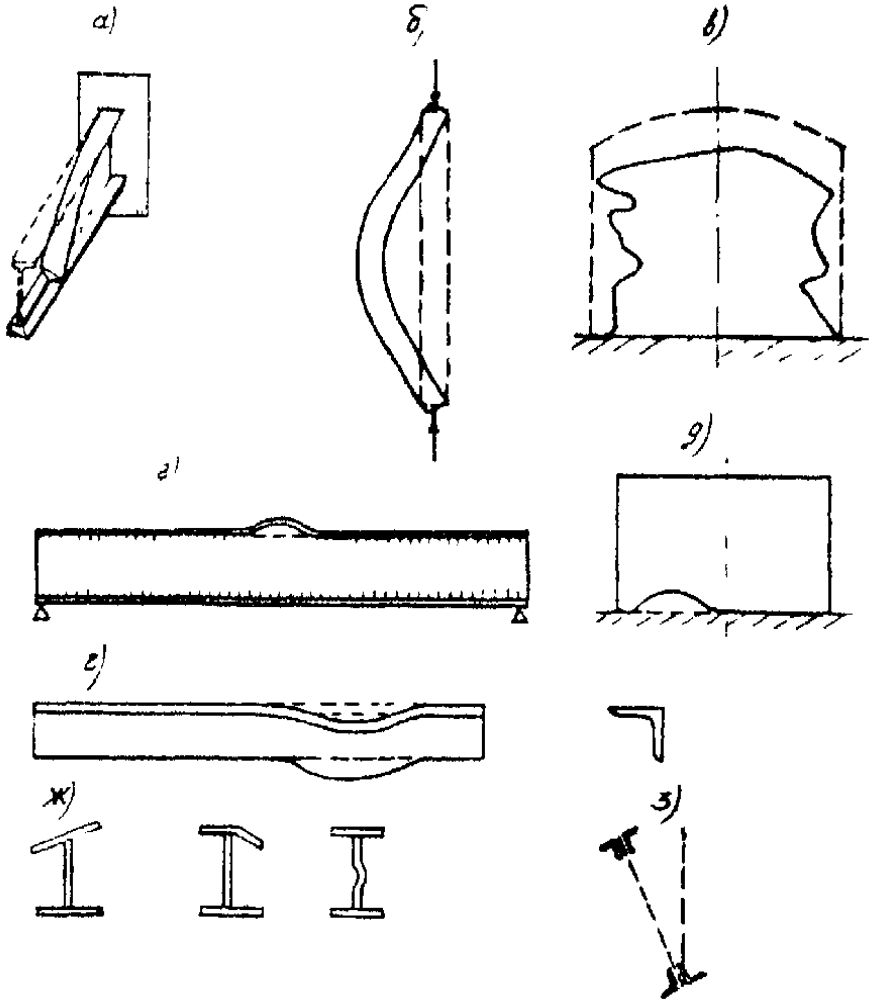


Рис. 1.1. Повреждения стальных конструкций:
а – общая потеря устойчивости балки; **б** – то же стойки; **в** – то же резервуара;
г – местная потеря устойчивости сжатого пояса балки; **д** – то же днища резервуара (хлопун);
е – механические повреждения элемента (погнутость) в ее плоскости;
ж – то же элементов; **з** – отклонение фермы от вертикали

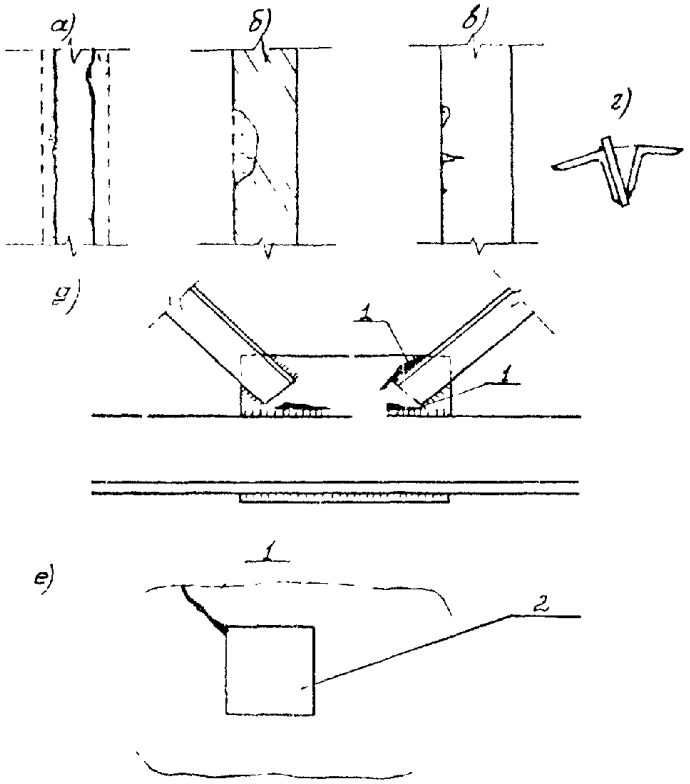


Рис. 1.2. Повреждения стальных конструкций. Коррозия элементов:
а – общая; **б** – местная; **в** – язвенная; **г** – щелевая;
д – трещины в фасонке по металлу и сварному шву;
е – трещины в резервуаре по краю отверстия;
1 — трещины; **2** — квадратное отверстие

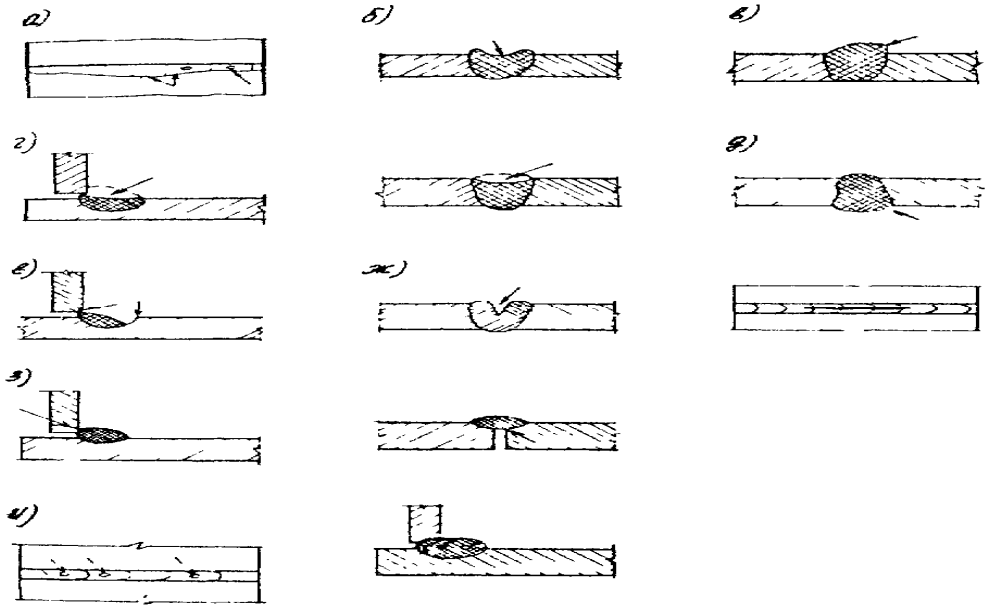


Рис. 1.3. Дефекты сварных соединений:
а – неравномерное сечение шва, кратеры; **б** – прожоги;
в – резкий переход от металла шва к основному;
г – неполномерность шва; **д** – наплывы; **е** – подрезы основного металла;
ж – трещины; **з** – непровары и шлаковые включения

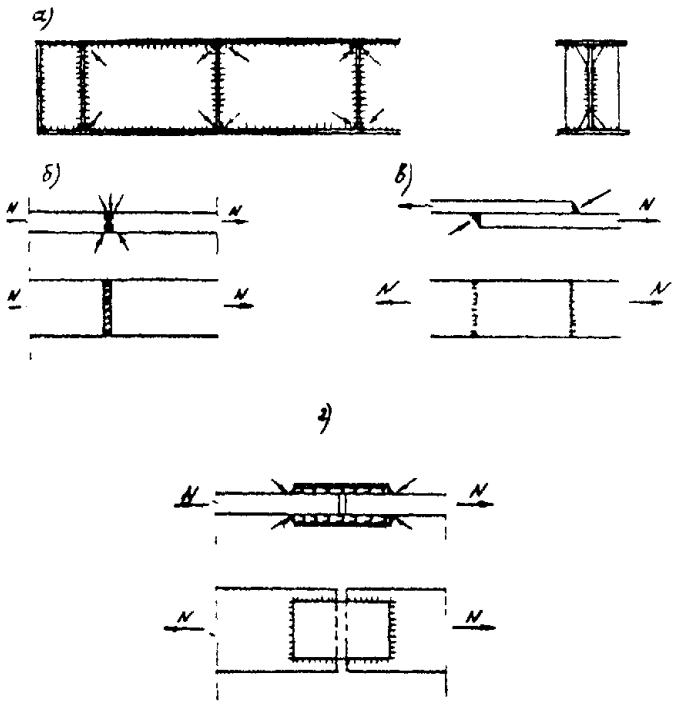


Рис. 1.4. Места зарождения усталостных трещин в сварных элементах стальных конструкций:
а – в соединениях прикрепления ребер жесткости балок к сплошной стене;
б – в стыковых соединениях; **в, г** – в нахлесточных соединениях

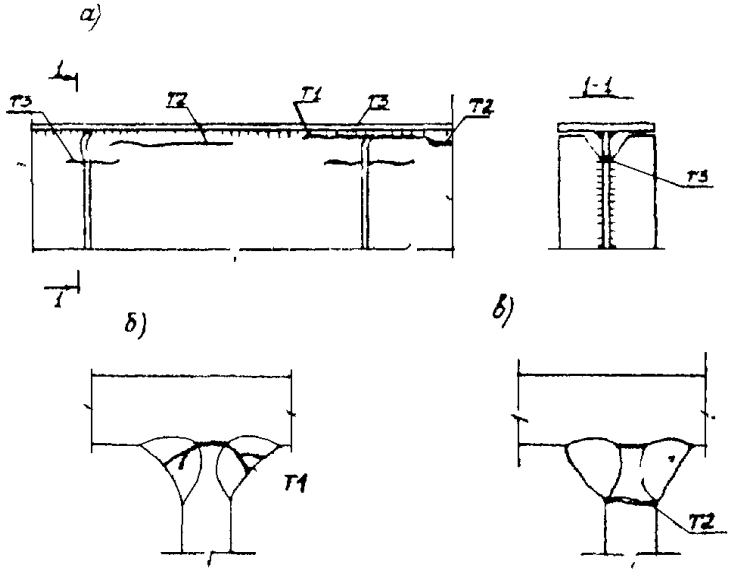


Рис.1.5. Основные типы трещин в верхних участках стальных подкрановых балок:
а – схема расположения трещин, **б** – трещина Т1 по сварному шву,
в – трещина Т2 под сварным швом, трещины Т3 вблизи ребер жесткости

По итогам визуально-инструментального обследования и оценки несущей способности с учётом выявленных дефектов и повреждений устанавливают степень потери несущей способности поврежденных и деформированных конструктивных элементов.

Общая оценка технического состояния металлических конструкций в соответствии с СП 13-102-2003 производится в соответствии со степенью их

повреждения по пятибальной шкале: ***исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, недопустимое, аварийное*** (таб. 1.1).

Таблица 1.1

Категории состояния несущих металлических конструкций [9, 15]

Техническое состояние	**Характеристика повреждений**	**Мероприятия по восстановлению**
1. Исправное	Внешние повреждения и деформации отсутствуют. Пространственное положение конструкции соответствует проектному	Не требуется
2. Работоспособное	Основная часть конструкций соответствует п. 1 настоящей таблицы. В отдельных конструкциях наблюдаются небольшие вмятины второстепенных и не сильно загруженных элементов; местные искривления и погибы, приводящие к ослаблению сечения до 5%; частичное разрушение антикоррозионной защиты, поверхностная коррозия отдельными пятнами с поражением до 5% сечения. Общий объём повреждённых конструкций не превышает 10% от их количества	Восстановить антикоррозионную защиту
3. Ограниченно работоспособное	Основная часть конструкций соответствует п.2 настоящей таблицы. Кроме того, отмечаются повреждения, снижающие несущую способность конструкций, но не сопровождающиеся потерей несущей способности основных элементов: коррозия с уменьшением площади сечения несущих элементов до 15%; разрыв второстепенных элементов по всему сечению или их искривление на большой длине; искривление основных элементов и другие механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 15%. Значительная деформация и разрушение связей, не вызывающее существенного снижения жёсткости каркаса. Прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролёта. Общий объём повреждённых конструкций не превышает 20% от их количества	Ремонт конструкций по месту
4. Недопустимое	Более 30% конструкций имеют дефекты и повреждения в соответствии с п. 2 и 3 настоящей таблицы. Имеются повреждения, сопровождающиеся значительным уменьшением несущей способности конструкций: механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 25%; искривления основных элементов; потеря местной устойчивости элементов конструкций; трещины в сварных швах или околошовной зоне, срез отдельных болтов или заклёпок; расстройство узловых соединений; прогибы изгибаемых элементов превышают 1/75 пролёта; коррозионный износ основных элементов до 25% проектных размеров сечений	Ремонт конструкций, как правило, с их демонтажем или устройством временных креплений

Окончание табл. 1.1.

Техническое состояние	Характеристика повреждений	Мероприятия по восстановлению
5. Аварийное	Имеются недопустимые дефекты и повреждения, свидетельствующие о возможной потере несущей способности, не перешедшей в предельное состояние потому, что ещё не реализовалось расчётное сочетание нагрузок. Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролёта. Потеря общей устойчивости балок и стоек. Разрыв отдельных растянутых элементов. Наличие трещин в основном материале элемента. Коррозия несущих элементов с уменьшением расчётного сечения более 25%. Расстройство стыков со взаимным смещением опор	Эксплуатация конструкций запрещена. Требуется немедленная их разгрузка и устройство временных креплений

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Авария – полное или частичное обрушение здания, сооружения, его части или отдельных конструктивных элементов, либо такая деформация, которая вызывает полную остановку производственного процесса, либо создаёт угрозу безопасности людей.

Аварийное состояние конструкций – техническое состояние конструкций, имеющих недопустимые дефекты и повреждения, свидетельствующие о возможной потере несущей способности, не перешедшей в предельное состояние потому, что ещё не реализовалось расчётное сочетание нагрузок.

Воздействие – влияние несилового характера окружающей среды на конструкцию, способное вызвать изменение её технического состояния (температура, агрессивные факторы и т.д.).

Дефект – отклонение качества, формы и фактических размеров элементов, конструкций и узлов соединений от требований нормативных документов или проекта, возникающее на стадии изготовления, транспортировки или монтажа.

Деформация конструкции – изменение формы и (или) размеров конструкции или её части под действием нагрузок.

Исправное состояние – категория технического состояния строительной конструкции, характеризующаяся отсутствием дефектов и повреждений, влияющих на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности.

Недопустимое состояние – категория технического состояния конструкции, характеризующаяся снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при которых существует опасность для пребывания людей и сохранности оборудования (необходимо проведение страховочных мероприятий и усиление конструкции).

Ограниченно работоспособное состояние – категория технического состояния конструкции, при которой имеются дефекты и повреждения, приведшие к некоторому снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения. Функционирование конструкции возможно при контроле её состояния, продолжительности и условий эксплуатации.

Ослабление – отклонение в форме и размерах поперечного сечения, связанное с уменьшением его площади.

Повреждение – отклонение качества, формы и фактических размеров конструкций или их элементов от требований нормативных документов или проекта, возникшее в процессе монтажа, погрузоразгрузочных работ или эксплуатации конструкций.

Предельное состояние конструкции – техническое состояние конструкции при её переходе из работоспособного в неработоспособное состояние.

Работоспособное состояние – категория технического состояния, при котором некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проектов и стандартов, но имеющиеся нарушения требований, например, по деформативности в железобетоне и по трещиностойкости, в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и несущая способность конструкции, с учётом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается.

Резервы несущей способности конструкции – неучтённые при проектировании факторы, способствующие повышению несущей способности конструкции.

1.3. Задание

В соответствии с таблицей 1.1 оценить техническое состояние строительных конструкций каркаса промышленного здания по результатам визуального обследования (прилагается) в зависимости от степени повреждения конструкций.

1.4. Контрольные вопросы

1. Перечислить категории технического состояния строительных конструкций в зависимости от степени их повреждения.
2. Что такое «дефект» конструкции?
3. Что такое «повреждение» конструкции?
4. Что такое «предельное состояние» конструкции?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ ВЫЯВЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ

1.1. Цель работы

* Знакомство с методикой оценки надёжности строительных конструкций, прогнозирования развития повреждений через *t* лет ее эксплуатации, прогнозирование вероятности аварий.

1.2. Краткие сведения из теории

Надёжность – обобщённое свойство, характеризующее безотказность, долговечность и ремонтопригодность конструкции.

Безотказность (безопасность) – свойство конструкции в течение определённого времени сопротивляться внешним воздействиям без опасности и вреда окружающей среде (без появления отказа).

Отказ – случайное событие, представляющее собой появление в конструкции предельного состояния.

Повреждения в конструкции разделяются в зависимости от причин их возникновения на две группы: от силовых воздействий и от воздействия внешней среды. Вторая группа повреждений снижает не только прочность конструкции, но и уменьшает ее долговечность. В зависимости от имеющейся поврежденности техническое состояние конструкций в соответствии с СП 13-102-2003 разделяется на 5 категорий: ***исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, недопустимое, аварийное.***

Влияние повреждений на надежность конструкций оценивается [11] посредством уменьшения общего нормируемого коэффициента надежности (запаса) конструкций в процессе эксплуатации

$$\gamma_o = \gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n, \qquad (2.1)$$

где γ_m – коэффициент надежности по материалу, γ_c - коэффициент условий работы, γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, γ_n - коэффициент надежности по назначению.

Относительная надежность конструкции при эксплуатации $J = \gamma/\gamma_o$. Поврежденность конструкции $\varepsilon = 1 - J$, где γ – фактический коэффициент надежности конструкции с учетом имеющихся повреждений.

Значения J и ε, а также приближенная стоимость C ремонта по восстановлению первоначального качества в процентах по отношению к первоначальной стоимости для различных категорий технического состояния конструкций приведены в табл. 2.1.

Оценка технического состояния стальных конструкций на основе имеющихся в них повреждений приведена в табл. 2.2. При этом оценка на-

дежности конструкций должна проводиться по максимальному повреждению на длине конструкции. Для оценки категории состояния конструкции необходимо наличие хотя бы одного признака, приведенного в графах 2, 3 табл. 2.2.

Таблица 2.1

Категории технического состояния [14]

Категория технического состояния	**Описание технического состояния**	$J = \gamma/\gamma_o$	$\varepsilon = 1 - J$	C, %
1.	**Исправное состояние.** Отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности. Необходимости в ремонтных работах нет	1	0	0
2.	**Работоспособное состояние**. Незначительное снижение несущей способности и долговечности конструкций. Требуется устройство антикоррозионного покрытия, затирка трещин и т.п.	0,90-0,95	0,05-0,10	0 - 11
3.	**Ограниченно работоспособное состояние**. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт	0,80-0,90	0,10-0,20	12 - 36
4.	**Недопустимое состояние.** Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкции. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение нагрузок	0,70-0,80	0,20-0,30	37 - 90
5.	**Аварийное состояние**. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, замена аварийных конструкций	<0,70	>0,30	91 - 100

Общая оценка поврежденности здания и сооружения производится по формуле

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1\varepsilon_1 + \alpha_2\varepsilon_2 + \cdots + \alpha_i\varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \cdots + \alpha_i}, \qquad (2.2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_i$ – средняя величина повреждений отдельных видов конструкций,

$\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_i$ – коэффициенты значимости отдельных видов конструкций.

Коэффициенты значимости конструкций устанавливаются на основе экспертных оценок, учитывающих социально-экономические последствия разрушения отдельных видов конструкций, влияние возможного разрушения рассматриваемой конструкции на обрушение других конструкций, характера

разрушения (разрушение с предварительным оповещением посредством развития пластических деформаций или мгновенное хрупкое разрушение).

Относительная оценка надежности здания или сооружения производится по формуле

$$J = 1 - \varepsilon. \qquad (2.3)$$

Таблица 2.2

Оценка состояния стальных конструкций по внешним признакам [14]

Категория состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия на конструкцию внешней среды
1.	Нет	Нет
2.	Нет	Местами разрушено антикоррозионное покрытие. На отдельных участках коррозия отдельными пятнами с поражением до 5 % сечения. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 5 %
3.	Прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролета	Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения несущих элементов до 15 %. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 15 %. Погнутость узловых фасонок ферм
4.	Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета. Потеря местной устойчивости конструкций (выпучивание стенок и поясов балок и колонн). Срез отельных болтов или заклепок в многоболтовых соединениях	Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов до 25 %. Трещины в сварных швах или в околошовной зоне. Механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 25 %. Отклонения ферм от вертикальной плоскости более 15 мм. Расстройство узловых соединений от проворачивания болтов или заклепок
5	Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета. Потеря общей устойчивости балок или сжатых элементов. Разрыв отдельных растянутых элементов ферм. Наличие трещин в основном материале элементов	Коррозия с уменьшением расчетного сечения и несущих элементов более 25 %. Расстройство стыков со взаимным смещением опор

Величину повреждения строительных конструкций через t лет ее эксплуатации определяют по формуле

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t}. \qquad (2.4)$$

Срок эксплуатации конструкции до капитального ремонта в годах:

$$t = \frac{0{,}162}{\lambda}, \qquad (2.5)$$

$$\lambda = \frac{-\ln J}{t_ф}$$

где λ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования, J – относительная надежность, определяемая по категории технического состояния конструкции в зависимости от ее повреждений по табл. 2.1, $t_ф$ – срок эксплуатации в годах на момент обследования.

Пример расчёта надёжности

Требуется определить **надёжность** стальной эстакады под технологические трубопроводы.

Эстакада имеет шаг опор 12 м, по ним уложено пролётное строение с траверсами через 4 м (три траверсы в пролёте).

Визуальным обследованием выявлено:

- техническое состояние траверс колеблется от исправного до недопустимого (таблица 2.1), повреждённость конструкций $\varepsilon_т = 0 – 0{,}25$, средняя величина $\varepsilon_т = 0{,}2$;

- техническое состояние балок пролётных строений – от исправного до ограниченно работоспособного, повреждённость $\varepsilon_б = 0{,}05 – 0{,}15$, средняя величина $\varepsilon_б = 0{,}1$;

- техническое состояние опор – от исправного до недопустимого, повреждённость $\varepsilon_к = 0 – 0{,}25$, средняя величина $\varepsilon_к = 0{,}15$.

Техническое состояние всей эстакады определяют с учётом значимости отдельных конструкций. Коэффициенты значимости устанавливают по соображениям последствий от их разрушения.

В рассматриваемом случае разрушение пролётного строения приводит к обрушению трёх траверс, а разрушение опоры к обрушению двух пролётных строений с 6-ю траверсами. Таким образом, коэффициент значимости для траверсы $\alpha_т = 1$, для пролётного строения $\alpha_б = 3$, для опор $\alpha_к = 6$.

По формуле (2.2) общая величина повреждения сооружения

$$\varepsilon = \frac{\alpha_т\varepsilon_т + \alpha_б\varepsilon_б + \alpha_к\varepsilon_к}{\alpha_т + \alpha_б + \alpha_к} = \frac{1*0{,}2 + 3*0{,}1 + 6*0{,}15}{1+3+6} = 0{,}14.$$

По табл. 2.1 техническое состояние эстакады может быть признано **ограниченно работоспособным.** Требуется проведение ремонта.

Необходимо определить **сроки капитального ремонта** конструкций с учётом их значимости.

Относительная надёжность опор, пролётных строений и траверс:

$$J_к = 1 - \varepsilon_к = 1 - 0{,}15 = 0{,}85;$$

$$J_б = 1 - \varepsilon_б = 1 - 0{,}1 = 0{,}9;$$

$$J_т = 1 - 0{,}2 = 0{,}8.$$

Постоянные износа опор и пролётных строений при сроке эксплуатации на момент обследования $t_ф = 10$ лет:

$$\lambda_к = \frac{-\ln J_k}{t_ф} = \frac{-\ln 0.85}{10} = 0{,}016;$$

$$\lambda_б = \frac{-\ln 0.9}{10} = 0{,}011;$$

$$\lambda_т = \frac{-\ln 0.8}{10} = 0{,}022.$$

Сроки капитального ремонта конструкций опор и пролётных строений с начала эксплуатации:

$$t_к = \frac{0{,}162}{0{,}016} = 10 \text{ лет};$$

$$t_б = \frac{0{,}162}{0{,}011} = 14{,}7 \text{ лет};$$

$$t_т = \frac{0{,}162}{0{,}022} = 7{,}4 \text{ года}.$$

Вывод: капитальный ремонт нужно проводить немедленно.

1.3. Задание

Оценить надёжность каркаса промышленного здания по результатам визуального обследования (прилагается), определить сроки проведения капитального ремонта.

1.4. Контрольные вопросы

1. Перечислить категории технического состояния строительных конструкций в зависимости от признаков силовых воздействий и воздействия внешней среды.
2. Что такое «надёжность» конструкции?
3. Что такое «безотказность» конструкции?
4. Что такое «отказ»?
5. Чем характеризуется появление в конструкции предельного состояния?

Лабораторная работа №3

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА КОНСТРУКЦИЙ И СОЕДИНЕНИЙ. НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

1.1. Цель работы

* Изучение и практическое освоение методики определения наименования (марки) строительной стали и фактического значения её расчётного сопротивления с учётом времени изготовления конструкции и степени её коррозионного поражения.

* Назначение расчётного сопротивления сварных швов.

1.2. Краткие сведения из теории

Оценку качества материалов эксплуатируемых конструкций следует проводить по рабочим чертежам, данным заводских сертификатов или по результатам испытаний образцов.

Испытания образцов проводятся при отсутствии исполнительной документации или сертификатов, а также при недостаточности имеющихся в них сведений или при обнаружении повреждений, которые могли быть вызваны низким качеством материала конструкций и соединений.

При исследовании и испытании металла следует определять следующие характеристики:

- химический состав с выявлением содержания элементов, предусмотренных государственными стандартами или техническими условиями на сталь по ГОСТ 22536.1-77*, ГОСТ 22536.2-87, ГОСТ 22536.3-77* и др.;

- механические свойства:

предел текучести, временное сопротивление и относительное удлинение при испытаниях на растяжение (рекомендуется проводить их с построением диаграммы работы стали) – по ГОСТ 1497-84*;

ударную вязкость для температур, соответствующих группе конструкций и климатическому району, по табл. 50 СНиП II-23-81*, после механического старения – в соответствии с государственными стандартами или техническими условиями на сталь.

Для конструкций 1 и 2 групп табл. 50 СНиП II-23-81, выполненных из кипящей стали толщиной свыше 12 мм и эксплуатирующихся при отрицательных температурах, дополнительно следует определять распределение сернистых включений способом отпечатка по Бауману по ГОСТ 10243-75*; микроструктуру с уточнением размеров зерен по ГОСТ 5639-82*.*

Механические свойства стали допускается определять и другими методами, обеспечивающими надежность результатов, соответствующую испытаниям на растяжение. В частности, **прочностные свойства стали без отбора образцов можно определять по твердости по Бринелю в соответствии**

с ГОСТ 22762-77. Для углеродистых сталей существует приблизительно прямая пропорциональность между твёрдостью H_b и пределом прочности σ_b ($\sigma_b \approx 0{,}36\ H_b$). Для каждого вида профиля (лист, уголок, балка и т. п.) проводятся контрольные испытания не менее трех образцов с определением предела текучести и временного сопротивления по стандартной методике. По результатам контрольных испытаний выполняется корректировка зависимостей между временным сопротивлением и параметрами, измеряемыми при испытаниях без отбора образцов (диаметром отпечатка).

Испытания могут проводиться для определения свойств стали отдельных (обычно, наиболее нагруженных) элементов либо для установления марки и оценки качества стали, использованной во всех конструкциях того или иного вида. В последнем случае для уточнения нормативных сопротивлений могут использоваться статистические методы обработки результатов испытаний.

Отбор проб химического анализа и образцов для механических испытаний производят из элементов конструкций отдельно для каждой партии металла.

К партии металла относятся элементы одного вида проката (по номерам профилей, толщинам и маркам стали), входящие в состав однотипных элементов конструкций (поясов ферм, решеток ферм, поясов подкрановых балок и т. п.) одной очереди строительства. Партию металла должны составлять не более 50 однотипных отправочных марок общей массой не более 60 т. Если отправочные марки представляют собой простые элементы из прокатных профилей (прогоны, балки, связи и т. п.), их количество в партии может быть до 250.

Число проб и образцов от каждой партии металла должно быть не менее, чем указано в табл. 3.1. При отборе проб и образцов необходимо соблюдать требования ГОСТ 7564-73* и ГОСТ 7565-81*.

Места отбора проб и образцов, а также необходимость усиления мест вырезки образцов определяются организацией, проводящей обследование конструкций.

Таблица 3.1

Вид испытаний	Количество элементов, проверенных в партии	Количество проб образцов	
		от элемента	всего от партии
Химический анализ	3	1	3
Испытания на растяжение	2(10*)	1	2(10*)
Испытания на ударную вязкость	9**	3**	6**
Отпечаток по Бауману	2	1	2

* При определении предела текучести стали и временного сопротивления по результатам статистической обработки данных испытаний образцов.

** Для каждой проверяемой температуры и для испытаний после механического старения.

Предел текучести или временное сопротивление стали по результатам статистической обработки данных испытаний (с отбором образцов или без отбора) вычисляется по формуле

$$R_{no} = \sigma_n - \alpha_s S_R, \tag{3.1}$$

где R_{no} – предел текучести R_{yno} или временное сопротивление R_{uno}.

$$\sigma_n = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\sigma_{ic} \tag{3.2}$$

– среднее арифметическое значение предела текучести или временного сопротивления по данным испытаний;

$$S_R = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(\sigma_{ic} - \sigma_n)^2} \tag{3.3}$$

– среднее квадратичное отклонение результатов испытаний; σ_{ic} – предел текучести или временное сопротивление, полученное при испытании *i*-го образца; α_S – коэффициент, учитывающий объем выборки и определяемый по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Количество образцов *m*	Коэффициент α_S	Количество образцов *m*	Коэффициент α_S
10	2,911	20	2,396
12	2,736	25	2,992
14	2,614	30	2,220
16	2,524	35	2,167
18	2,453	40 и более	2,125

Примечания: 1. Для промежуточных значений *m* коэффициент α_S определяется линейной интерполяцией. 2. Коэффициент α_S определяет нижнюю одностороннюю допустимую границу интервала, содержащую с доверительной вероятностью 0,95, то есть не менее 95% значений нормально распределенной случайной величины со средним значением σ_n и дисперсией S^2_R.

Если отношение $S_R/\sigma_n > 0{,}1$, то использование результатов, полученных по формуле (3.1) не допускается, поскольку такой большой разброс свойств образцов свидетельствует о том, что они не относятся к одной партии металла.

При проведении испытаний образцов для определения свойств стали отдельных элементов конструкции в качестве нормативного сопротивления в рассматриваемом элементе допускается принимать минимальное значение предела текучести или временного сопротивления, полученное при испытаниях не менее двух образцов, отобранных из этих элементов.

Расчетное сопротивление проката и труб, из которых изготовлены конструкции, определяют по формулам, приведенным в табл. 1 СНиП II-23-81* ($R_{yo}= R_{yno} / \gamma_m$; $R_{uo} = R_{uno} / \gamma_m$). При этом значения предела текучести R_{yo} и временного сопротивления R_{uo} определяются по результатам статистической обработки, если выполнено достаточное число испытаний. В противном случае принимаются:

- для сталей, у которых приведенные в сертификатах или полученные при контрольных испытаниях значения предела текучести и временного сопротивления удовлетворяют требованиям государственных стандартов или технических условий на сталь, действовавшим во время строительства, – по минимальному значению этих характеристик, указанных в упомянутых документах;

- для сталей, у которых приведенные в сертификатах или полученные при испытаниях значения предела текучести и временного сопротивления ниже, чем предусмотренные государственными стандартами или техническими условиями на сталь, действовавшими во время строительства, - по минимальным значениям предела текучести, приведенным в сертификатах или полученным при испытаниях.

Коэффициент надежности по материалу следует принимать:

- для конструкций, изготовленных до 1932 г., и сталей, у которых полученные при испытаниях значения предела текучести ниже 215 МПа (2200 кгс/см^2) – $\gamma_m = 1,2$;

- для конструкций, изготовленных в период с 1932 по 1982 гг. – $\gamma_m = 1,1$ для сталей с пределом текучести ниже 380 МПа (3850 кгс/см^2) и $\gamma_m = 1,15$ для сталей с пределом текучести выше 380 МПа (3850 кгс/см^2);

- для конструкций, изготовленных после 1982 г. по ГОСТ 27772-88, – γ_m=1,025 (кроме сталей С590 и С590К) и γ_m=1,050 для сталей С590 и С590К.

Для элементов конструкций, имеющих коррозионный износ с потерей более 25% площади поперечного сечения или остаточную после коррозии толщину 5 мм и менее, расчетные сопротивления снижаются путем умножения на коэффициент γ_d, принимаемый по табл. 3.3.

Таблица 3.3

Степень агрессивности среды по СНиП 2.03.11-85	Коэффициент γ_d
Слабоагрессивная	0,95
Среднеагрессивная	0,9
Сильноагрессивная	0,85

Расчетные сопротивления сварных соединений конструкций, подлежащих реконструкции или усилению, следует назначать с учетом марки стали, сварочных материалов, вида сварки, положения шва, примененных в конструкции.

При отсутствии данных, установленных нормами, допускается принимать:

- для угловых швов – $R_{wun} = R_{un}$; $\gamma_{wn} = 1,25$; $\beta_f = 0,7$; $\beta_z = 1,0$ считая при этом $\gamma_c = 0,8$;

- для растянутых стыковых швов конструкций, изготовленных до 1972 г., $R_{wy} = 0{,}55\ R_{yo}$, изготовленных после 1972 г., $R_{wy} = 0{,}85\ R_{yo}$.

Допускается уточнять несущую способность сварных соединений по результатам испытаний.

Пример

Из нижних поясов подкрановых балок здания мартеновского цеха, построенного в 1951 г, отобрано и испытано 14 образцов металла. Значения предела текучести, полученные при испытаниях образцов, приведены в таблице 3.4, там же выполнен подсчет величин, входящих в выражения для σ_n и S_R.

Таблица 3.4

Номер образца	**σ_{ic}, МПа**	**$\sigma_{ic} - \sigma_n$**	**$(\sigma_{ic} - \sigma_{in})^2$**	**Примечание**
1	279	6	36	Балка БП-1
2	265	- 8	64	То же
3	285	12	144	»
4	291	18	254	
5	253	- 20	400	
6	273	0	0	
7	287	14	196	
8	243	- 30	900	
9	275	2	4	
10	274	1	1	
11	293	20	400	
12	307	34	1156	
13	246	- 27	729	
14	261	- 12	144	
Итого:	3832	-	4428	

σ_n и S_R подсчитываются по формулам: $\sigma_n = 3832/14 = 273$ МПа,

$S_R = \sqrt{4428/13} = 18{,}4$ МПа.

Для $m = 14$ по табл. 2 имеем $\alpha_S = 2{,}614$ и по формуле (3.1) получаем $R_{no} = 273 - 2{,}614 \times 18{,}4 = 230$ МПа.

Коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1{,}1$(время постройки 1932-1982 гг.).

Расчетное сопротивление $R_{yo} = 230/1{,}1 = 209$ МПа.

Задание 1

Определить расчётное сопротивление стальных прокатных балок перекрытий (I № 20) реконструируемого здания постройки 1933 г. по результатам испытаний образцов вырезанных из полок двутавров. Значения пределов текучести σ_{yi}, полученные в результате испытаний стандартных образцов на растяжение, приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ_{yi}, кН/см^2	2,1	22,4	2,0	22,6	23,0	21,8	22,4	22,5	22,7	22,6

Задание 2

Определить наименование стали, если по результатам химического анализа получено следующее содержание отдельных элементов (в процентах).

Таблица 3.6

Вариант	***C***	***Mn***	***Si***	***S***	***P***	***Cr***	***Ni***	***Cu***	***V***	*Другие элементы*
1	0,10	0,6	0,30	0,035	0,075	0.55	0.35	0.45		***Al*** – 0.1
2	0,18	0,5	0,13	0,03	0,03	0.25	0.19	0.21		
3	0,15	1,6	0,63	0,027	0,027	0.18	0.21	0.19		Следы
4	0,18	0,4	0,04	0,033	0,033	0.22	0.14	0.16		
5	0,18	0,5	0.20	0.035	0.035	0,22	0,13	0,18		
6	0,16	1.6	0,30	0,030	0,030	0,35	0,20	0,23	0,08	***A*** – 0.019
7	0,17	1,6	0,30	0,030	0,030	0,35	0,20	0,23	0,13	***A*** – 0.019
8	0,22	0,47	Следы	0,047	0,031	Нет	дан-ных			
9	0,16	0,44	0,01	0,049	0,028		Нет	дан-ных		
10	0,12	1,35	0,65	0,031	0,017	0,022	0,018	0,28	0,12	***Mo*** – 0,21

Наименование стали определяют, сопоставляя полученные значения с массовой долей элементов по ГОСТ 27772-88 (табл.1 прил.).

Контрольные вопросы

1. В каких случаях проводят испытания образцов проката?
2. Какие характеристики металла определяют при испытании рядовых стропильных ферм?
3. Какое минимальное число проб и образцов должно быть от каждой партии металла)?
4. Показать в каких местах отбирают образцы в балках, фермах, колоннах.
5. Как влияет на расчётное сопротивление коррозионный износ конструкции?
6. Как назначают расчётные сопротивления сварных соединений?

Приложение
Таблица 1, ГОСТ 27772-88

Наименование стали	Массовая доля элементов, %									
	углерода, не более	марганца	кремния	серы, не более	фосфора	хрома	никеля	меди	ванадия	других элементов
С235	0,22	не более 0,60	не более 0,05	0,050	не более 0,040	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	-	-
С245, С275, С345Т* С375Т*	0,22	не более 0,65	0,05-0,15	0,050	не более 0,040	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	-	-
С255, С285, С345Т* С375Т*	0,22 0,22 0,20	не более 0,65 0,8-1,10 0,8-1,10	0,15-0,30 0,05-0,15 0,15-0,30	0,050 0,050 0,050	не более 0,040	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	-	-
С345 С375 С390Т**	0,15	1,30-1,70	не более 0,80	0,040	не более 0,035	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	-	-
С345К	0,12	0,30-0,60	0,17-0,37	0,040	0,07-0,12	0,50-0,80	0,30-0,60	0,30-0,50	-	Алюминий 0,08-0,15
С390	0,18	1,20-1,60	не более 0,60	0,040	не более 0,035	не более 0,40	не более 0,30	не более 0,30	0,07-0,12	Азот 0,015-0,025
С440	0,20	1,30-1,70	не более 0,60	0,040	не более 0,035	не более 0,40	не более 0,30	не более 0,30	0,08-0,14	“
С590	0.15	1,30-1,70	0.40-0.70	0.35	не более 0,035	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	0.07-0.15	Молибден 0,15-0,25

Лабораторная работа № 4

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Цель работы

* Изучение и практическое освоение методики оценки степени коррозионного поражения конструкций.

* Изучение устройств и приёмов работы с наиболее распространёнными приборами для замеров реальной толщины элементов.

* Оценка влияния коррозионного поражения на прочность конструкций.

1.2. Краткие сведения из теории

При оценке технического состояния стальных конструкций, пораженных коррозией, прежде всего необходимо определить вид коррозии и ее качественную и количественную характеристики.

Различают следующие основные виды коррозии стальных конструкций.

Сплошная – характеризуется относительно равномерным распределением коррозии по всей поверхности; **пятнами** – характеризуется небольшой глубиной проникновения коррозии по сравнению с поперечными размерами поражений; **язвенная** – характеризуется появлениями на поверхности металла отдельных или множественных повреждений, глубина и поперечные размеры которых (от долей миллиметра до нескольких миллиметров) соизмеримы; **точечная** (питтинговая) – представляет собой разрушение в виде отдельных мелких (не более 1 – 2 мм в диаметре) и глубоких (глубина больше поперечных размеров) язвочек; **межкристаллическая** – характеризуется относительно равномерным распределением множественных трещин на больших участках элементов (глубина трещин обычно меньше, чем их размеры на поверхности).

К качественным характеристикам коррозии относятся плотность, структура, цвет и химический состав продуктов коррозии. Качественные характеристики определяют путем лабораторных исследований продуктов коррозии, а цвет – визуально.

К количественным показателям коррозионных поражений относятся их площадь, глубина коррозионных язв, величина потери сечения, скорость коррозии.

При оценке степени коррозионного износа конструкций производят следующие операции:

- очистку конструкций от пыли, мусора, легко отслаивающихся продуктов коррозии с помощью промышленных пылесосов, волосяных щеток и деревянных шпателей;

- общую визуальную оценку состояния противокоррозионной защиты: наличие дефектов и повреждений покрытий; относительная площадь участков с поврежденным покрытием;

- установление вида коррозионных повреждений металла и определение относительной площади пораженных участков металла;

- выявление участков с повышенным коррозионным износом и подготовку поверхности конструкций к инструментальным замерам путем зачистки до металлического блеска металлическими щетками, напильниками или инструментами с абразивом от пластовой ржавчины и противокоррозионного покрытия;

- замер степени поражения конструкций коррозией.

Извлекать продукты коррозии из питтингов, язв, узких щелей и зазоров (для последующего проведения измерений глубины коррозионных повреждений) следует остро заточенным инструментом без применения ударного воздействия. Не допускается устанавливать глубину местных коррозионных повреждений путем послойного сошлифовывания металла на элементах конструкций.

Толщина элементов, поврежденных коррозией, замеряется не менее чем в трех сечениях по длине элемента. В каждом проводится не менее трех замеров. При сплошной коррозии толщина элементов замеряется с помощью штангенциркулей, микрометров или механических толщиномеров (рис. 4.1). Толщина замкнутых профилей определяется с помощью ультразвуковых толщиномеров.

При язвенной коррозии, а также при наличии питтингов толщина элементов замеряется с помощью измерительных скоб (рис. 4.2) или прибора Тимашева (рис. 4.3).

За фактическую толщину сечения элемента принимают величину среднего арифметического значения δ:

$$\delta = \sum \delta_i / n \,, \tag{4.1}$$

где δ_i – замер толщины сечения в i-й точке;

n - число замеров на элементе.

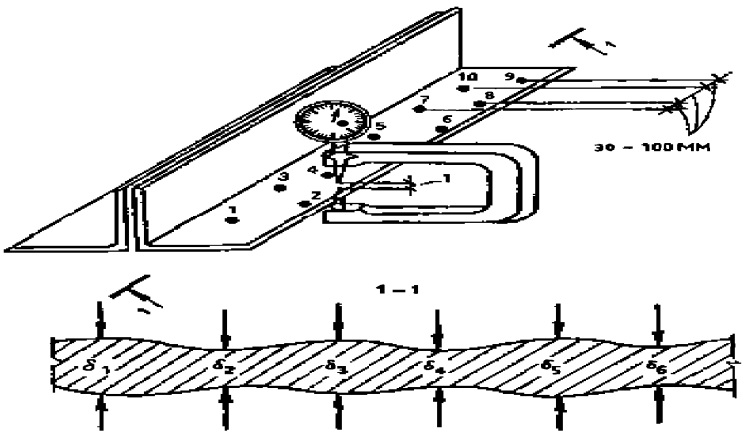


Рис. 4.1. Схема измерения толщины элементов при сплошной коррозии

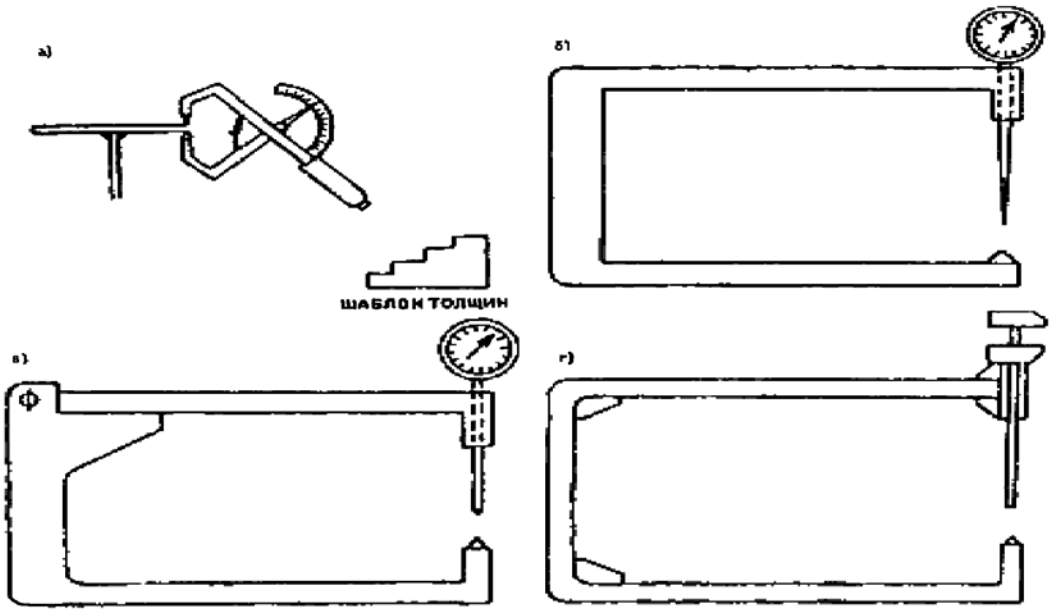


Рис. 4.2. Инструменты для замеров толщины элементов
а – механический толщиномер; ***б*** – коррозионно-метрическая скоба;
в – скоба с раскрывающейся рамкой; ***г*** – раздвижная скоба

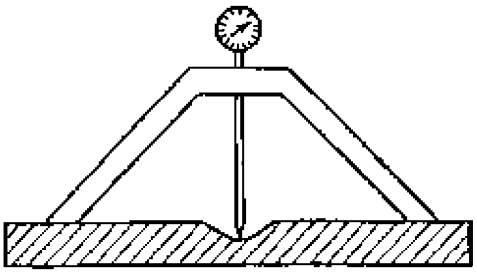


Рис. 4.3. Схема прибора Тимашева

Количество замеров ***n*** определяется разбросом данных и точностью измерений. Как правило, при сплошной коррозии число замеров толщины сечений на одном элементе составляет 8 – 10, при язвенной коррозии – 20 – 30. Для определения величины коррозионного износа необходимо знать начальную толщину элемента δ_0, которая может отличаться от номинальной на величину допусков на толщину проката. Для определения δ_0 рекомендуется найти участки поверхности конструкции, на которых отсутствуют коррозионные повреждения или сохранилось первоначальное защитное покрытие, и произвести замер толщины элемента. В случае отсутствия неповрежденного участка начальную толщину δ_0 следует определять анализом проектных данных с учетом предусмотренных ГОСТом допусков, а также замеров толщины

элементов штангенциркулем. Производят 5 – 10 замеров и определяют величины среднего арифметического $\bar{\delta}^{ш}$ и среднего квадратичного отклонения $'\delta^{ш}$:

$$\bar{\delta}^{ш} = \sum \delta_i^{ш} / n_{ш}; \tag{4.2}$$

$$'\delta^{ш} = \sqrt{\frac{\sum (\delta_i^{ш} - \bar{\delta}^{ш})^2}{n_{ш} - 1}}. \tag{4.3}$$

По технической документации выясняют типоразмер сечения элемента, предусмотренный проектом. Зная дату выпуска проекта и время постройки объекта, подбором соответствующего сортамента на металлические профили получают номинальную $\delta_{ном}^{ГОСТ}$ толщину сечения и минимальную $\delta_{min}^{ГОСТ}$ с учетом допуска на толщину проката.

За начальную толщину элемента $\boldsymbol{\delta_0}$ принимают наибольшую из двух: максимальной, полученной по замерам штангенциркулем $\bar{\delta}^{ш} + 3\hat{\delta}^{ш}$ и минимальной по ГОСТ $\delta_{min}^{ГОСТ}$.

Среднюю величину утонения элемента $\boldsymbol{\Delta_{эл}}$, определяют по формуле

$$\Delta_{эл} = \delta_0 - \delta. \tag{4.4}$$

Получив среднее утонение по отдельным элементам, определяют таковые для однородной группы конструкций:

$$\Delta_{констр} = \sum \Delta_{эл} / n_{эл}, \tag{4.5}$$

где $n_{эл}$ – число замеренных элементов однородной выборки, необходимое для получения достоверного результата.

Затем определяют среднюю скорость коррозии V для выбранной однородной группы конструкций

$$V = \Delta_{констр} / T, \tag{4.6}$$

где T – срок службы конструкции к моменту проведения обследования.

Стойкость металлов определяется при равномерной коррозии средней скоростью разрушения, мм/год, при неравномерной коррозии - глубиной проникновения отдельных коррозионных разрушений (язв), мм/год.

Учет влияния коррозионных повреждений производят уменьшением расчетной площади поперечного сечения.

При равномерном коррозионном износе элементов расчетную площадь поперечного сечения допускается определять по формуле

$$A_{ef} = (1 - k_{SA}\Delta^*)A_0, \tag{4.7}$$

где A_0 – площадь поперечного сечения элемента без учета коррозионных повреждений; k – коэффициент слитности сечения, равный отношению

периметра, контактирующего со средой, к площади поперечного сечения. Приближенно величину коэффициента k_{SA} можно принимать для уголков – 2/t, для замкнутых профилей – 1/*t,* для швеллеров и двутавров – $4/(t + d)$, здесь t и d – толщины полки и стенки соответственно.

Расчетный момент сопротивления для проверки прочности изгибаемых элементов допускается определять по формуле

$$W_{ef} = (1 - k_{SW}\Delta^*)W_0, \qquad (4.8)$$

где W_0 – момент сопротивления сечения без учета коррозионных повреждений; k_{SW} – коэффициент изменения момента сопротивления вследствие коррозионного износа;

Коэффициенты k_{SW} для некоторых типоразмеров прокатных профилей приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Коэффициенты k_{swx}, k_{swy} для различных прокатных профилей, мм

Швеллеры ГОСТ 8240-72*			Двутавры ГОСТ 8239-72*			Двутавры широкополочные ТУ 14-2224-72		
Номер профиля	k_{swx}	k_{swy}	Номер профиля	k_{swx}	k_{swy}	Номер профиля	k_{swx}	k_{swy}
12	0,29	0,27	20	0,26	0,24	20ш	0,33	0,27
14	0,28	0,26	22	0,25	0,23	23ш	0,29	0,27
16	0,27	0,25	24	0,24	0,21	23ш2	0,2	0,18
16а	0,25	0,24	27	0,23	0,2	26ш	0,25	0,25
18	0,26	0,25	27а	0,22	0,2	30ш	0,22	0,21
20	0,25	0,24	30	0,22	0,2	35ш	0,2	0,18
22	0,24	0,23	30а	0,21	0,19	40ш	0,17	0,16
24	0,23	0,22	36	0,18	0,16	50ш	0,17	0,16
27	0,22	0,2	40	0,17	0,15	60ш	0,16	0,15
30	0,21	0,19	50	0,15	0,13	70ш	0,15	0,14
36	0,18	0,17	60	0,13	0,11	-	-	-

Для уголковых профилей значения коэффициентов k_{SW} можно принимать как для швеллеров высотой сечения равной двойной высоте полки уголка.

Величина проникновения коррозии Δ^* в формулах (4.7) и (4.8) принимается:

$\Delta^* = \Delta_{констр}$ – при односторонней коррозии замкнутых профилей;

$\Delta^* = \dfrac{\Delta_{констр}}{2}$ – при двусторонней коррозии открытых профилей (двутавров, швеллеров, уголков и т. п.).

При расчёте величину радиуса инерции можно принимать по сортаменту, поскольку она мало меняется при коррозионном поражении.

Пример

Определить несущую способность сжатого рядового раскоса стропильной фермы из спаренных уголков 75х75х6 длиной в осях 226 см, поражённого равномерной коррозией глубиной проникновения Δ* = 0,5 мм. Расчётная нагрузка N = 95 кН, расчётное сопротивление стали R_y = 210 Мпа.

Условие устойчивости стержня $N / \varphi A_{ef} \le R_y \gamma_c$.

Расчётная длина в плоскости фермы l_{efx} = 0.8х226 = 181 см.

Расчётная длина из плоскости фермы l_{efy} = 226 см.

По сортаменту площадь поперечного сечения раскоса A_0 = 2 х 8,78 = = 17,56 см^2, радиус инерции i_x = 2,30 см, i_y = 3.44 при зазоре 10 мм. Гибкость стержня $\lambda_x = l_{efx} / i_x$ = 181/2.30 = 78.7; λ_y = 226/3,44 = 65,7. Поскольку $\lambda_x > \lambda_y$, по ней определяем величину коэффициента продольного изгиба (таблица СниП или любого учебника) φ = 0,68.

Расчётная площадь поперечного сечения раскоса A_{ef} = (1 – 2 х 0.5 / 6) 17,56 = 14,6 см^2, формула (4.7).

Условие устойчивости 95/ (0,68 х 14,6) = 9,98 кН/см^2 < R_y выполняется.

1.3. Задание

Определить несущую способность стержня стропильной фермы, поражённого равномерной коррозией глубиной проникновения Δ* по данным обследования конструкций (прилагается).

1.4. Контрольные вопросы

1. Какие существуют основные виды коррозии?
2. Как замеряется толщина элементов поражённых сплошной коррозией?
3. Что принимается за фактическую толщину сечения элемента по результатам замеров?
4. Как определить среднюю скорость коррозии за прошедший срок службы конструкции?
5. Что такое Δ* и $\Delta_{констр}$?
6. Как определить величину радиуса инерции поражённого коррозией элемента?

Лабораторная работа №5

ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Цель работы

* Освоить и закрепить методику проверки несущей способности конструкций с учётом выявленных дефектов и повреждений.

1.2. Основные сведения из теории

Проверочный расчет конструкций с учетом влияния дефектов выполняется с целью установления:

- возможности дальнейшей эксплуатации конструкций без каких-либо ограничений;
- необходимости усиления конструкций;
- возможности ограничений эксплуатации конструкций до плановых ремонтно-восстановительных работ:
- необходимости немедленного прекращения эксплуатации в аварийной ситуации.

Проверку прочности элементов, имеющих ослабления в виде вырезов, вырывов, подрезов и т. п., следует проводить по площади нетто с учетом эксцентриситетов от смещения центра тяжести ослабленного сечения относительно центра тяжести первоначального сечения в соответствии с указаниями п. 5.25 СНиП II-23-81*.

Сжатые сплошностенчатые элементы стальных конструкций, имеющие общее искривление, следует рассчитывать как внецентренно сжатые в соответствии с указаниями СНиП II-23-81*.

Отличие работы искривленных стержней от внецентренно сжатых (рис. 5.1) рекомендуется учитывать умножением стрелки искривления стержня $\boldsymbol{f_0}$ в ненагруженном состоянии на коэффициент $\boldsymbol{k}$ перехода от максимальной стрелки, искривления к эквивалентному эксцентриситету, принимая

$$m_{ef} = k\eta\, m_f, \text{ где } m_f = f_0 A/W.$$

Коэффициент $\boldsymbol{k}$ вычисляется по формуле

$$k = 0{,}82 + 0{,}1\sqrt{\eta m_f}\,/\,\bar{\lambda}\,, \tag{5.1}$$

где $\bar{\lambda}$ - условная гибкость стержня в плоскости искривления;

η – коэффициент влияния формы сечения, принимаемый по табл. 7.3 СНиП II-23-81*.

Стрелка искривления стержня в ненагруженном состоянии определяется по формуле

$$f_0 = \psi_0 f'_{\text{из}}\,, \tag{5.2}$$

где $f'_{из}$ – полная стрелка искривления, замеренная при нагрузке стержня силой N'_0 (см. рис. 5.1); ψ – коэффициент ($0 \le \psi_0 \le 1$), вычисляемый по формуле

$$\psi_0 = 1 - 0{,}1\bar{\lambda}^2 \sigma' / R_{yo}, \tag{5.3}$$

здесь

$$\sigma' = N'_0 / A_0 \le \pi^2 E / \lambda^2 \tag{5.4}$$

– напряжение в стержне в момент замера стрелки $f'_{из}$;
– R_{yo} – расчетное сопротивление стали проверяемой конструкции.

Если усилие в стержне N'_0 в момент замера стрелки определить невозможно, следует принимать $\psi_0 = 1$.

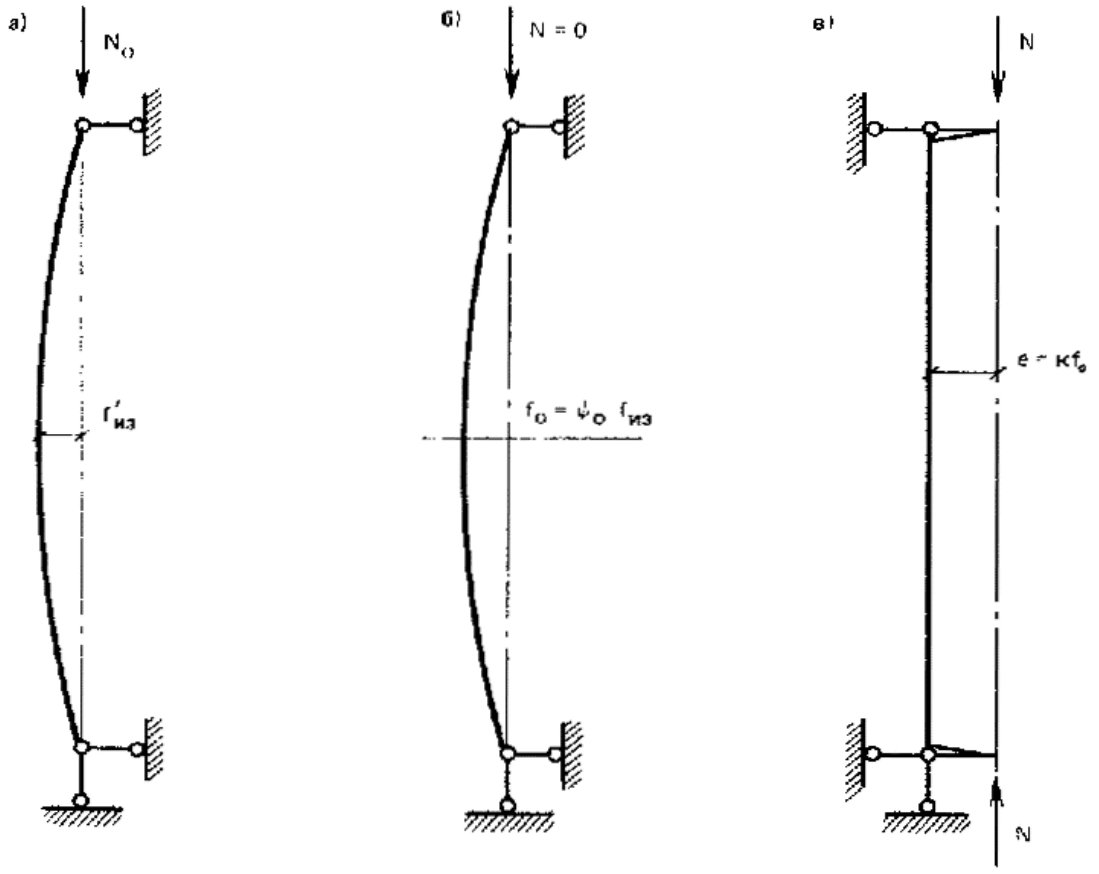


Рис. 5.1. Сжатый стержень с общим искривлением
а – нагруженный; ***б*** – ненагруженный; ***в*** – эквивалентный внецентренно-сжатый

Расчет на устойчивость сжатых стержней из двух спаренных уголков, расположенных в тавр и имеющих искривление в двух плоскостях более указанных в табл. 1 прил. следует выполнять по формуле

$$N / \varphi_{uv} A_0 \le R_{yo}, \tag{5.5}$$

где φ_{uv} – коэффициент снижения несущей способности, определяемый по

табл. 2-4 приложения в зависимости от условной гибкости в плоскости симметрии сечения

$$\bar{\lambda}_x = l_0 / i_x \sqrt{R_{yo} / E} \tag{5.6}$$

и условных относительных стрелок искривлений в двух плоскостях:

$$\bar{u}_0 = \frac{f_{x0}}{l_0} \sqrt{E / R_{yo}}, \tag{5.7}$$

$$\bar{v}_0 = \frac{f_{y0}}{l_0} \sqrt{E / R_{yo}}. \tag{5.8}$$

При этом для элементов решетки ферм (кроме опорных раскосов и опорных стоек) следует учитывать упругое защемление в поясах, принимая в плоскости фермы коэффициент приведения расчетной длины μ = 0,8 и используя данные табл. 3 приложения.

При определении стрелок искривления стержня в ненагруженном состоянии f_{x0} и f_{y0} следует руководствоваться указаниями (5.2).

Не допускается принимать значения коэффициентов φ_{uv} больше значений коэффициентов φ для центрально-сжатых стержней, приведенных в п. 5.3 СНиП II-23-81*.

Учет влияния расцентровки. Расцентровка стержней вызывает момент в узле, равный произведению усилия в одном из стержней N на величину расцентровки $\boldsymbol{e}$:

$$M_{узл} = N\, e.$$

Узловой момент обычно определяют как произведение наибольшего по абсолютной величине усилия в одном из раскосов на его эксцентриситет.

Узловой момент распределяется между стержнями, сходящимися в узле пропорционально их погонным жёсткостям:

$$\mathrm{M_i} = \frac{M_{узл}}{\Sigma EI / l} EI_i / l_i.$$

Проверку несущей способности производят по обычным правилам расчёта сжато-изогнутых или растянуто-изогнутых стержней.

Пример

Стойка высотой 6,4 м, поддерживающая конструкцию газопровода, изготовлена из двутавра № 27а по ОСТ 10016-39 (А = 54,6 см^2; W_x = 485 см^3; i_x =10,9 см). Расчетная нагрузка N = 520 кН, нагрузка от собственного веса поддерживаемых конструкций, при которой выполнялись обмеры, N'_0 = 460 кН. Материал конструкции имеет расчетное сопротивление R_{yo} = 200 МПа.

При обследованиях обнаружено общее искривление стойки со стрелкой $f'_{из}$ = 6 см и коррозионный износ, равномерный по поперечному сечению с глубиной проникновения коррозии Δ* = 1,5 мм.

Расчетные геометрические характеристики вычисляются по формулам (4.7) и (4.8) лабораторной работы №4:

$$A_{ef} = 64{,}6\left(1 - 1{,}5\frac{4}{8{,}5 + 13{,}7}\right) = 39{,}84 \text{ см}^2,$$

$$W_{ef} = 485(1 - 0{,}22 \cdot 1{,}5) = 324 \text{ см}^3,$$

(коэффициент k_{sw} принят по табл. 4.1 лабораторной работы № 4, d = 8,5 мм; t = 13,7 мм).

Приведенное значение радиуса инерции

$$i_{ef} = \sqrt{\frac{W_{ef} h/2}{A_{ef}}} = \sqrt{\frac{324 \cdot 13{,}5}{39{,}84}} = 10{,}5 \text{ см.}$$

Условная гибкость $\bar{\lambda} = \frac{640}{10{,}5}\sqrt{\frac{200}{2{,}1 \cdot 10^5}} = 1{,}89$, напряжение в момент замера искривления σ'_1 = 460/39,84 = 11,55 кН/см^2 = 115,5 МПа.

По формуле (5.3) коэффициент $\psi_0 = 1 - 0{,}1\frac{1{,}89^2 \cdot 115{,}5}{200} = 0{,}796$, а следовательно, стрелка искривления в исходном состоянии, вычисляемая по формуле (5.2), составит f_0= =0,796·6 = 4,78 см.

Относительный эксцентриситет m_f = 4,78·39,84/324 = 0,588, коэффициент влияния формы сечения по табл. 73 СНиП II-23-81* равен $\eta = (1{,}75 - 0{,}1 \cdot 0{,}588) - 0{,}02(5 - 0{,}588)1{,}89 = 1{,}53$.

Коэффициент перехода от стрелки искривления к эквивалентному эксцентриситету определяем по формуле (5.1):

$$k = 0{,}82 + 0{,}1\frac{\sqrt{1{,}53 \cdot 0{,}588}}{1{,}89} = 0{,}87,$$

откуда m_{ef} = 0,87·1,53·0,588 = 0,78. По табл. 74 СНиП II-23-81* для $\bar{\lambda}$ = 1,89 и m_{ef} =0,78 имеем $\varphi_{вн}$ = 0,594.

Проверка по формуле (51) СНиП II-23-81* $\frac{N}{\varphi_e A} \le R_y \gamma_c$ показывает, что 520/0,594·39,84 = 21,98 кН/см^2 = 21,98 МПа > 200·0,9 = 180 МПа.

Стойку необходимо усилить.

1.3. Задание

Определить несущую способность стержня стропильной фермы с учётом выявленных дефектов и повреждений (прилагается).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

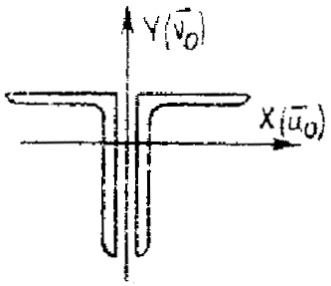
Допустимые относительные искривления элементов ферм из парных уголков

$\frac{N}{\varphi A_0 R_{y0}}$	Параметры	Предельно допустимые значения						
0,9	$\bar{u}_0$	0,125	0,105	0,08	0,065	0,055	0,045	0,04
	$\bar{\upsilon}_0$	0,005	0,03	0,04	0,05	0,055	0,06	0,065
0,8	$\bar{u}_0$	0,21	0,16	0,125	0,105	0,08	0,065	0,055
	$\bar{\upsilon}_0$	0,005	0,03	0,055	0,06	0,07	0,08	0,090
0,7	$\bar{u}_0$	0,3	0,2	0,16	0,125	0,105	0,08	0,04
	$\bar{\upsilon}_0$	0,005	0,04	0,07	0,09	0,105	0,125	0,13
0,6	$\bar{u}_0$	0,315	0,21	0,16	0,105	0,065	0,045	0,04
	$\bar{\upsilon}_0$	0,005	0,105	0,125	0,16,	0,175	0,185	0,19

Таблица 2

Коэффициент $\varphi_{u\upsilon}$ для стержней из равнополочных уголков, шарнирно закрепленных в двух главных плоскостях

($\mu_X = 1$, $\mu_y = 1$)



$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	Коэффициенты $\bar{\varphi}_{uy}$ при $\bar{\upsilon}_0$										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,5	0,05	860	883	906	928	952	957	925	872	825	783	744
	0,1	851	871	893	917	939	951	927	872	825	783	744
	0,2	829	852	871	894	915	924	931	874	826	784	745
	0,3	810	828	848	868	887	900	932	876	828	784	746
	0,4	792	810	826	848	861	871	903	881	830	786	748
	0,5	772	792	804	822	843	846	975	891	833	789	749
1	0,05	725	761	799	842	889	896	842	752	680	620	571
	0,1	709	744	780	820	864	885	843	753	680	620	571
	0,2	682	710	743	779	816	835	852	756	682	622	572
	0,3	652	680	708	740	772	790	843	762	685	624	574
	0,4	625	649	678	705	734	747	792	774	690	628	576
	0,5	604	625	651	675	698	711	752	681	699	632	580
1,5	0,05	602	644	688	726	814	824	754	640	558	496	447

$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	Коэффициенты $\bar{\varphi}_{uy}$ при $\bar{\upsilon}_0$										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	0,1	586	624	664	718	774	810	755	641	558	496	447
	0,2	555	588	624	666	712	734	768	644	561	498	448
	0,3	526	555	586	620	642	674	745	653	565	501	450
	0,4	500	525	551	567	611	628	680	673	571	504	453
	0,5	475	498	521	545	571	585	627	659	582	510	456
	0,05	494	541	591	653	712	753	661	538	459	402	359
	0,1	480	521	567	621	688	729	664	540	460	402	359
2	0,2	451	485	522	564	613	641	676	544	462	403	359
	0,3	125	453	483	504	542	563	648	552	466	406	361
	0,4	401	425	450	476	507	523	577	575	472	409	363
	0,5	379	400	421	444	405	480	510	545	482	414	366
	0,05	404	451	502	563	647	667	569	451	380	330	293
	0,1	395	434	479	532	598	628	572	452	380	330	293
2,5		370	402	437	477	524	550	585	458	382	331	294
	0,3	347	374	402	433	468	487	559	464	385	333	295
	0,4	327	348	372	397	423	438	486	482	390	336	297
	0,5	308	326	346	366	386	397	429	454	399	340	299
	0,05	331	361	422	481	562	580	481	379	317	275	243
	0,1	323	350	404	454	517	559	486	380	317	275	243
3	0,2	306	335	368	405	447	473	497	383	319	276	244
	0,3	288	312	337	363	387	404	483	388	322	277	245
	0,4	270	290	311	333	355	369	413	400	325	279	246
	0,5	255	271	288	306	323	333	361	379	331	282	248
	0,05	270	307	352	409	482	481	408	320	268	232	205
	0,1	266	300	340	387	446	485	412	320	268	232	205
3,5	0,2	255	282	312	346	383	421	418	323	269	233	206
	0,3	241	263	286	311	331	354	421	328	271	234	207
	0,4	227	245	263	283	503	315	354	334	274	235	208
	0,5	214	229	244	260	275	284	309	323	277	337	209
	0,05	223	253	293	342	411	416	338	272	228	198	176
	0,1	221	250	285	329	383	418	347	979	228	198	176
4	0,2	214	238	266	297	332	354	354	274	229	198	176
	0,3	204	224	245	267	292	302	363	277	230	199	177
	0,4	194	209	226	243	257	267	308	278	232	200	177
	0,5	183	196	209	218	232	240	266	277	233	201	178
	0,05	186	211	244	288	349	351	295	233	196	171	152
	0,1	185	209	240	280	321	353	295	233	196	171	152
4,5	0,2	181	202	227	256	288	307	999	235	297	171	152
	0,3	174	192	211	232	254	267	308	236	198	172	153
	0,4	166	181	196	207	228	236	269	238	199	172	153
	0,5	158	170	182	193	206	2 S3	233	238	199	173	153
5	0,05	158	178	205	242	295	298	246	202	171	149	133
	0,1	157	177	203	238	283	299	254	202	171	149	133
	0,2	155	173	195	222	251	268	256	203	171	149	133
	0,3	150	166	184	202	223	234	259	204	172	149	133

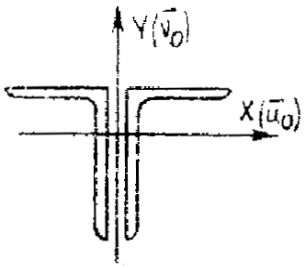
$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	Коэффициенты $\bar{\varphi}_{uy}$ при $\bar{\upsilon}_0$										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	0,4	144	157	171	185	200	204	233	204	172	150	133
	0,5	138	148	159	170	181	187	205	202	172	150	133
5,5	0,05	136	152	175	205	249	955	218	176	150	131	117
	0,1	135	15!	174	203	243	256	219	176	150	131	117
	0,2	134	149	169	192	220	230	220	176	150	131	117
	0,3	131	144	160	178	196	206	221	177	150	131	117
	0,4	126	138	150	163	177	184	212	177	150	131	117
	0,5	121	131	140	150	160	166	182	174	149	131	117
6	0,05	118	132	151	176	212	220	190	155	132	116	104
	0,1	118	132	150	175	209	221	190	155	132	116	104
	0,2	117	130	147	168	193	207	190	155	132	116	104
	0,3	115	127	141	157	170	183	191	155	132	116	104
	0,4	111	122	133	145	157	163	188	154	132	116	104
	0,5	107	116	126	134	143	148	143	149	131	116	104

Примечание. Значения коэффициента $\varphi_{r\upsilon}$ в таблице увеличены в 1000 раз.

Таблица 3

Коэффициент $\varphi_{r\upsilon}$ для стержней из равнополочных уголков упругозащемленных в плоскости симметрии и шарнирно закрепленных из этой плоскости

($\mu_x = 0{,}8$; $\mu_y = 1$)



$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	$\varphi_{u\upsilon}$ при $\bar{\upsilon}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
0,5	0,05	830	854	880	910	938	945	907	944	789	740	598
	0,1	818	841	868	894	923	936	908	944	789	741	598
	0,2	791	819	839	865	890	903	914	945	790	742	699
	0,3	767	789	815	839	881	871	911	850	792	743	700
	0,4	748	768	787	811	829	845	877	856	796	745	701
	0,5	723	744	760	782	806	812	844	872	801	749	704
1	0,05	674	713	756	804	854	871	809	707	629	566	515
	0,1	657	693	732	777	826	852	811	708	630	566	515
	0,2	623	656	691	727	768	789	825	712	631	568	516
	0,3	593	620	652	684	718	735	793	721	636	571	518
	0,4	565	592	618	645	674	689	737	745	645	575	521
	0,5	543	564	587	611	635	648	688	717	654	581	525
1,5	0,05	546	590	640	699	772	799	715	591	506	444	396

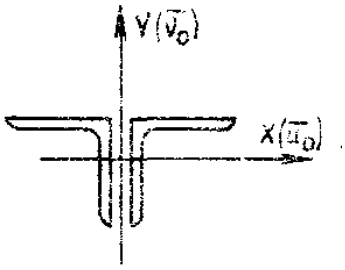
$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	φ_{uv} при $\bar{v}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
	0,1	528	567	612	664	725	759	717	593	507	445	396
	0,2	493	525	562	602	647	672	755	598	510	446	397
	0,3	462	491	520	552	587	606	654	610	515	449	400
	0,4	435	459	484	510	538	553	586	633	523	454	403
	0,5	411	431	452	474	494	506	534	568	542	460	406
2	0,05	443	478	541	604	638	704	623	494	413	357	315
	0,1	428	468	512	561	627	646	626	496	414	357	315
	0,2	395	427	461	498	541	562	647	502	417	359	316
	0,3	367	383	420	448	480	497	552	515	422	362	318
	0,4	343	364	386	408	423	445	475	511	431	366	321
	0,5	321	399	357	375	392	402	420	440	460	373	325
2,5	0,05	360	406	457	517	596	643	526	413	343	293	256
	0,1	349	387	430	478	537	571	542	416	343	293	257
	0,2	322	351	382	415	445	473	548	422	345	295	258
	0,3	298	321	344	367	394	403	456	436	350	398	260
	0,4	277	295	314	300	352	362	386	413	358	301	262
	0,5	259	274	289	303	318	325	341	358	366	306	265
3	0,05	294	337	386	433	514	560	459	450	287	245	215
	0,1	286	322	361	406	450	489	465	351	287	245	215
	0,2	266	293	320	349	381	392	457	357	290	246	215
	0,3	247	266	287	507	324	342	374	370	294	249	217
	0,4	229	245	260	277	287	301	325	338	300	252	219
	0,5	213	226	239	251	262	269	284	293	295	255	220
3,5	0,05	240	278	325	377	433	482	393	298	244	208	182
	0,1	236	269	306	347	392	419	396	299	244	208	182
	0,2	223	247	271	297	324	338	392	303	246	209	183
	0,3	207	225	243	261	275	289	320	312	250	211	184
	0,4	193	206	220	234	247	254	272	281	253	213	185
	0,5	180	191	201	208	221	226	238	243	243	215	186
4	0,05	200	231	272	322	379	412	336	255	209	179	157
	0,1	197	226	260	291	330	359	339	251	205	179	157
	0,2	188	210	233	250	273	319	335	260	212	180	157
	0,3	177	193	208	224	235	248	273	266	214	181	158
	0,4	165	177	185	199	212	213	232	237	216	183	159
	0,5	154	163	172	181	190	193	202	206	204	183	160
4,5	0,05	168	194	229	268	324	343	287	216	182	156	136
	0,1	166	191	222	256	290	210	290	221	182	156	136
	0,2	161	180	201	221	240	251	286	224	183	156	137
	0,3	152	167	181	194	203	214	230	227	185	157	138
	0,4	143	153	164	174	183	188	200	202	185	158	138
	0,5	133	142	150	157	164	167	174	177	174	157	138
5	0,05	143	164	193	233	275	298	248	192	159	137	120
	0,1	142	163	190	221	252	268	250	193	159	137	120
	0,2	139	156	175	193	209	218	247	195	160	137	120
	0,3	132	145	158	169	181	184	203	196	161	138	121
	0,4	125	134	143	152	157	164	171	175	160	138	121

$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	φ_{uv} при $\bar{v}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
	0,5	117	124	131	137	144	146	150	154	150	137	121
5,5	0,05	124	142	166	198	242	255	215	168	140	121	107
	0,1	123	141	164	192	220	230	217	169	140	121	107
	0,2	121	136	153	170	184	192	214	171	138	121	107
	0,3	116	128	139	150	160	165	178	170	142	122	107
	0,4	110	119	127	134	139	144	152	153	140	122	107
	0,5	104	110	116	121	125	129	134	135	131	120	107
6	0,05	108	123	114	117	209	220	188	149	125	108	095
	0,1	108	123	142	167	192	205	189	249	125	108	095
	0,2	107	120	135	150	163	169	187	150	125	108	095
	0,3	103	113	124	133	142	146	156	149	126	108	096
	0,4	098	106	113	120	123	129	135	135	123	108	096
	0,5	092	098	104	109	113	115	119	120	116	106	095

Примечание. Значения коэффициента φ_{uv} в таблице увеличены в 1000 раз.

Таблица 4

Коэффициенты φ_{uv} для стержней из неравнополочных уголков шарнирно закрепленных в двух главных плоскостях



$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	φ_{uv} при $\bar{v}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
0,5	0,05	840	362	887	909	933	945	936	890	848	810	755
	0,1	825	845	866	889	911	922	939	890	848	810	775
	0,2	795	807	827	849	867	878	907	893	850	811	776
	0,3	760	776	789	813	826	837	863	882	853	812	777
	0,4	729	745	761	778	789	801	823	840	856	816	779
	0,5	707	718	732	744	756	760	787	800	816	830	785
1	0,05	680	711	751	788	833	821	860	778	711	655	608
	0,1	655	685	717	753	790	806	872	779	712	656	607
	0,2	609	633	659	668	714	725	768	796	716	658	609
	0,3	569	589	610	631	653	663	696	719	734	662	612
	0,4	533	551	568	584	601	609	620	649	663	678	618
	0,5	501	515	529	542	555	561	577	590	600	608	614
1,5	0,05	543	577	621	667	726	757	776	670	591	530	481
	0,1	514	545	564	614	660	679	753	671	592	530	482
	0,2	466	489	514	540	565	566	622	652	597	533	484
	0,3	427	445	453	482	490	508	526	557	568	541	483

$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	$\varphi_{u\upsilon}$ при $\bar{\upsilon}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
	0,4	393	408	422	435	439	454	473	485	493	494	487
	0,5	364	375	385	395	404	407	419	429	435	435	432
2	0,05	437	458	508	554	609	640	686	568	489	432	388
	0,2	407	434	464	500	539	558	624	570	490	432	388
	0,3	363	382	404	415	446	430	495	514	498	236	390
	0,4	300	304	322	332	338	339	358	365	367	364	355
	0,5	275	283	291	299	305	308	316	320	321	329	314
2,5	0,05	355	384	418	459	506	532	598	478	406	355	317
	0,1	330	351	370	406	439	451	490	482	407	356	318
	0,2	290	305	323	332	357	368	391	401	395	358	319
	0,3	255	271	284	288	307	312	324	330	329	320	305
	0,4	237	245	253	262	268	270	277	282	281	277	270
	0,5	216	223	229	234	236	240	243	246	246	244	239
3	0,05	293	319	346	379	415	424	480	402	330	296	264
	0,1	271	289	311	334	352	369	403	401	441	297	264
	0,2	236	250	262	269	290	290	313	317	309	289	262
	0,3	211	221	230	239	248	251	252	262	259	251	240
	0,4	192	199	205	211	216	217	221	224	222	218	212
	0,5	175	180	185	189	192	192	193	196	! 95	193	189
3,5	0,05	244	261	290	316	337	358	383	331	285	249	222
	0,1	221	239	254	276	289	305	326	321	285	249	222
	0,2	196	206	213	229	240	244	255	255	247	233	215
	0,3	176	183	187	198	203	206	211	212	209	202	190
	0,4	159	165	170	174	178	179	182	182	181	177	172
	0,5	145	149	152	154	158	155	160	160	157	157	154
4	0,05	207	225	245	265	287	295	312	287	244	253	190
	0,1	191	204	218	232	246	254	266	260	239	212	190
	0,2	166	175	183	192	196	203	210	209	202	192	179
	0,3	148	154	157	166	171	172	175	175	172	167	167
	0,4	135	139	143	147	149	150	152	152	150	147	112
	0,5	123	126	129	131	131	131	131	134	133	131	128
4,5	0,05	173	192	204	220	240	241	256	235	209	183	164
	0,1	163	163	185	193	207	213	220	215	199	175	163
	0,2	139	146	156	164	170	172	177	175	169	160	150
	0,3	127	132	137	141	145	146	149	148	145	140	134
	0,4	115	119	122	125	127	128	128	129	127	124	120
	0,5	105	108	110	112	113	111	112	114	112	101	106
5	0,05	158	163	175	188	204	209	214	200	180	160	143
	0,1	141	147	156	168	173	181	186	180	168	151	142
	0,2	123	129	135	140	146	148	149	147	143	135	125
	0,3	110	112	119	122	122	126	127	126	123	119	115
	0,4	096	103	106	106	108	110	111	110	109	103	100
	0,5	092	093	095	097	098	098	098	097	096	094	093
5,5	0,05	133	144	155	165	174	178	180	170	156	139	129
	0,1	123	131	139	146	158	155	159	153	144	133	121

$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	$\varphi_{u\upsilon}$ при $\bar{\upsilon}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
	0,2	105	110	117	122	127	128	130	127	123	117	108
	0,3	097	100	101	107	109	109	110	109	107	108	099
	0,4	088	090	098	095	096	096	097	096	094	092	089
	0,5	080	082	082	085	086	086	086	086	085	083	081
6	0,05	117	126	135	144	147	153	154	143	135	121	111
	0,1	108	115	122	127	133	135	136	132	121	116	107
	0,2	095	099	108	107	111	112	113	110	106	102	096
	0,3	084	088	091	094	094	096	096	095	093	090	046
	0,4	077	078	082	084	085	085	085	084	083	081	478
	0,5	071	072	074	075	075	075	076	076	075	073	072

Примечание. Значения коэффициента $\varphi_{u\upsilon}$ в таблице увеличены в 1000 раз.

Лабораторная работа №6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ СОХРАНЯЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Цель работы

* Освоить и закрепить основные способы усиления конструкций.

1.2. Основные сведения из теории

С целью сокращения объемов работ по усилению, а в некоторых случаях и отказа от усиления необходимо выявлять и использовать резервы несущей способности сохраняемых конструкций путем:

- уточнения усилий, действующих в перенапряженных элементах, за счет учета пространственной работы каркаса; фактических условий соединения и закрепления, учета фактических значений нагрузок, воздействий и их сочетаний;

- уточнения прочностных характеристик материала конструкций и соединений, фактических размеров сечений и элементов;

- включения в работу ограждающих конструкций или других вспомогательных элементов зданий и сооружений.

С этой целью рекомендуется проведение мероприятий по улучшению условий работы несущих конструкций, таких как:

- изыскание возможности уменьшения нагрузок, действующих на все здание или отдельные элементы его (ограничение грузоподъемности кранов, их сближения между собой, ограничение хода тележки, изменение схемы расположения кранов на подкрановых путях, изменение конфигурации кровли для уменьшения снеговых мешков, мероприятия по борьбе с отложением промышленной пыли и т. д.);

- уменьшение нагрузок от веса ограждающих конструкций путем замены их более легкими, в особенности в тех случаях, когда замена ограждаю-

щих конструкций связана с их неудовлетворительным состоянием.

Мероприятия по уменьшению крановых и других технологических нагрузок не должны ухудшать условия основного производства и должны быть обязательно согласованы со службой эксплуатации, включая приемы и методы контроля за уровнем нагрузок.

Основными способами усиления конструкций являются:

- увеличение площади поперечного сечения отдельных элементов конструкции;

- изменение конструктивной схемы всего каркаса или отдельных элементов его, в результате чего меняется расчетная схема;

- регулирование напряжений.

Каждый из этих способов может применяться самостоятельно или в комбинации с другим. При выборе способа усиления и разработке проекта усиления необходимо учитывать требования монтажной технологичности.

При конструктивном оформлении усиления путем увеличения сечений необходимо:

- обеспечить надежную совместную работу элементов усиления и усиливаемой конструкции, в том числе требования по местной устойчивости (размеры свесов, отгибов) и неискажаемости сечения (установка в необходимых случаях ребер, диафрагм и т.п.);

- не принимать решений, затрудняющих проведение мероприятий по антикоррозионной защите, в особенности ведущих к щелевой коррозии или образованию замкнутых полостей, применяя в необходимых случаях герметизацию щелей;

- назначать места обрыва элементов усиления из условия работы неусиленных сечений при действии расчетных нагрузок в упругой стадии, не допуская резких концентраторов напряжений в указанных местах;

- учитывать наличие конструктивного оформления узлов, ребер жесткости, прокладок и т. п., а также допустимость увеличения габаритов строительных конструкций;

- обеспечивать технологичность производства работ по усилению, в частности, доступность сварки, возможность сверления отверстий, закручивания болтов и т. п.

При усилении конструкций путем изменения конструктивной схемы требуется:

- учитывать перераспределение усилий в конструкциях, элементах, узлах, а также в опорах, включая дополнительные проверки фундаментов;

- учитывать разность температур, если существующие и новые конструкции могут эксплуатироваться в разных температурных режимах, а также температурный режим при замыкании статически неопределимых систем;

- предусматривать в конструктивных решениях элементов и узлов возможность компенсации несовпадения размеров существующих и новых конструкций.

Способ усиления конструкций, предусматривающий регулирование напряжений, позволяет уменьшить усилия, действующие в конструкции. Преимущество его состоит также в том, что усиление может производиться без разгрузки конструкции и остановки технологического процесса.

Марку стали элементов усиления следует назначать по табл. 50 СНиП II-23-81 * с учетом качества стали усиливаемой конструкции. Если эти конструкции выполнены без сварки и отсутствуют данные о свариваемости стали, то для их усиления сварку можно применять только после проведения оценки свариваемости.

Применяемая для элементов усиления сталь, как правило, не должна уступать по качеству металлу усиливаемых конструкций (по механическим свойствам, вязкости и свариваемости).

Наиболее часто применяемые приёмы прямого усиления элементов ферм представлены на рис. 6.1, колонн – на рис. 6.2.

Расчет конструкций при усилении их путем увеличений сечений, общие положения

Расчетная схема конструкций должна отражать условия их работы и фактическое состояние, установленные данными обследований.

Расчет выполняется только для тех частей зданий и сооружений, на которые влияют усиление, изменение режима эксплуатации, дефекты и повреждения.

При расчете конструкций, усиление которых выполняется под нагрузкой, необходимо учитывать напряжения, существующие в сохраняемых конструкциях в момент усиления, и последовательность включения в работу дополнительных конструкций, деталей усиления и раскрепления.

При расчете усиливаемых под нагрузкой элементов на устойчивость и деформативность следует учитывать начальные и дополнительные их деформации, возникающие на стадии усиления (в частности, дополнительные прогибы, возникающие при усилении с помощью сварки).

Искривления от сварки при проверке устойчивости сжатых и внецентренно сжатых элементов и элементов, работающих на сжатие с изгибом, допускается учитывать введением дополнительного коэффициента условий работы $\gamma_c = 0,8$.

При расчете усиления элементов конструкций на прочность и деформативность коэффициенты условий работы принимаются в соответствии с указаниями разд. 4 СНиП II-23-81*. В расчетах на общую устойчивость коэффициент условий работы γ_c принимается равным 0,9, если только в табл. 5 СНиП II-23-81* не определено меньшее значение γ_c.

Коэффициент надежности по назначению γ_n принимается в соответствии с правилами учета степени ответственности зданий и сооружений при проектировании конструкций.

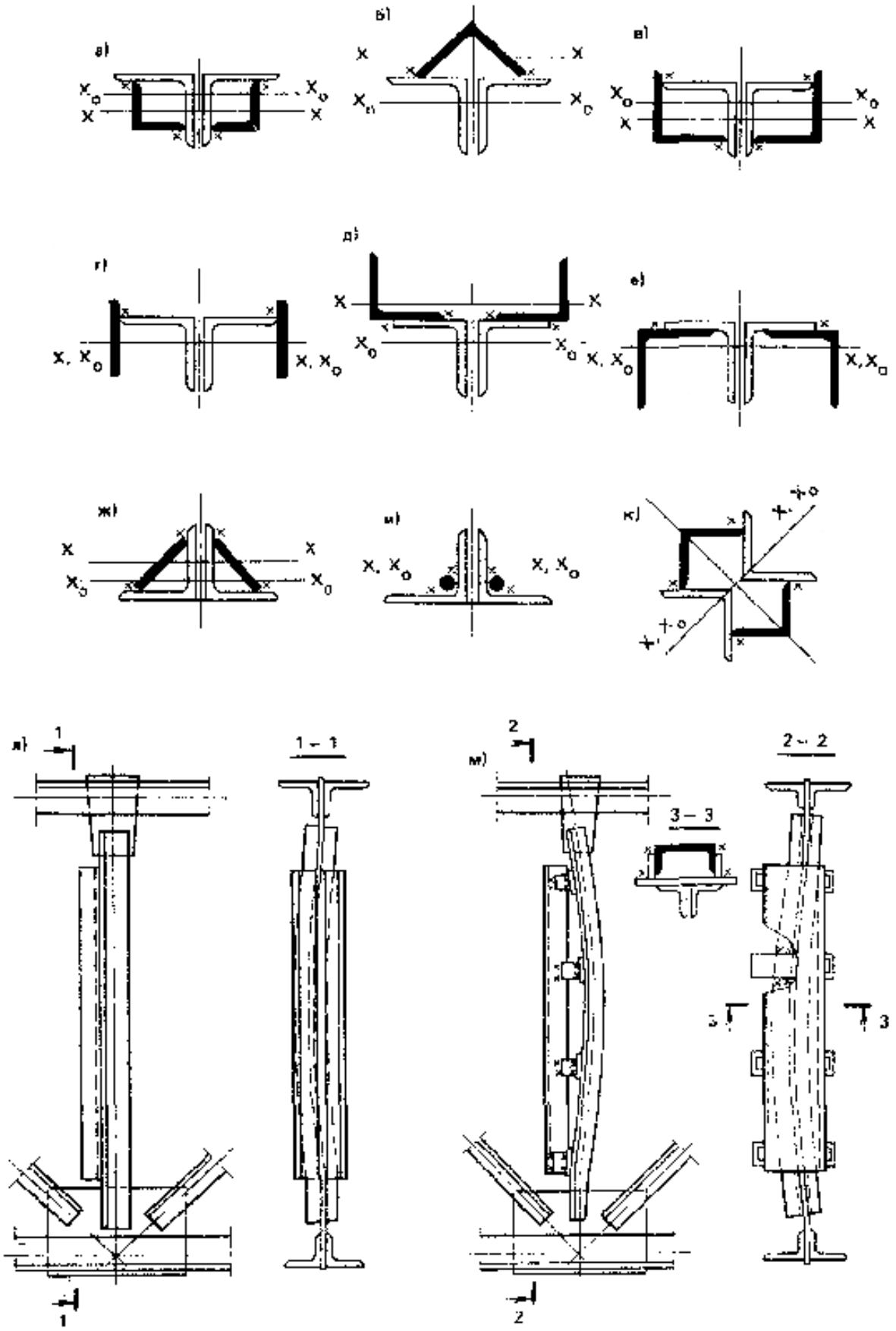


Рис. 6.1. Усиление элементов стропильных ферм путём увеличения сечения

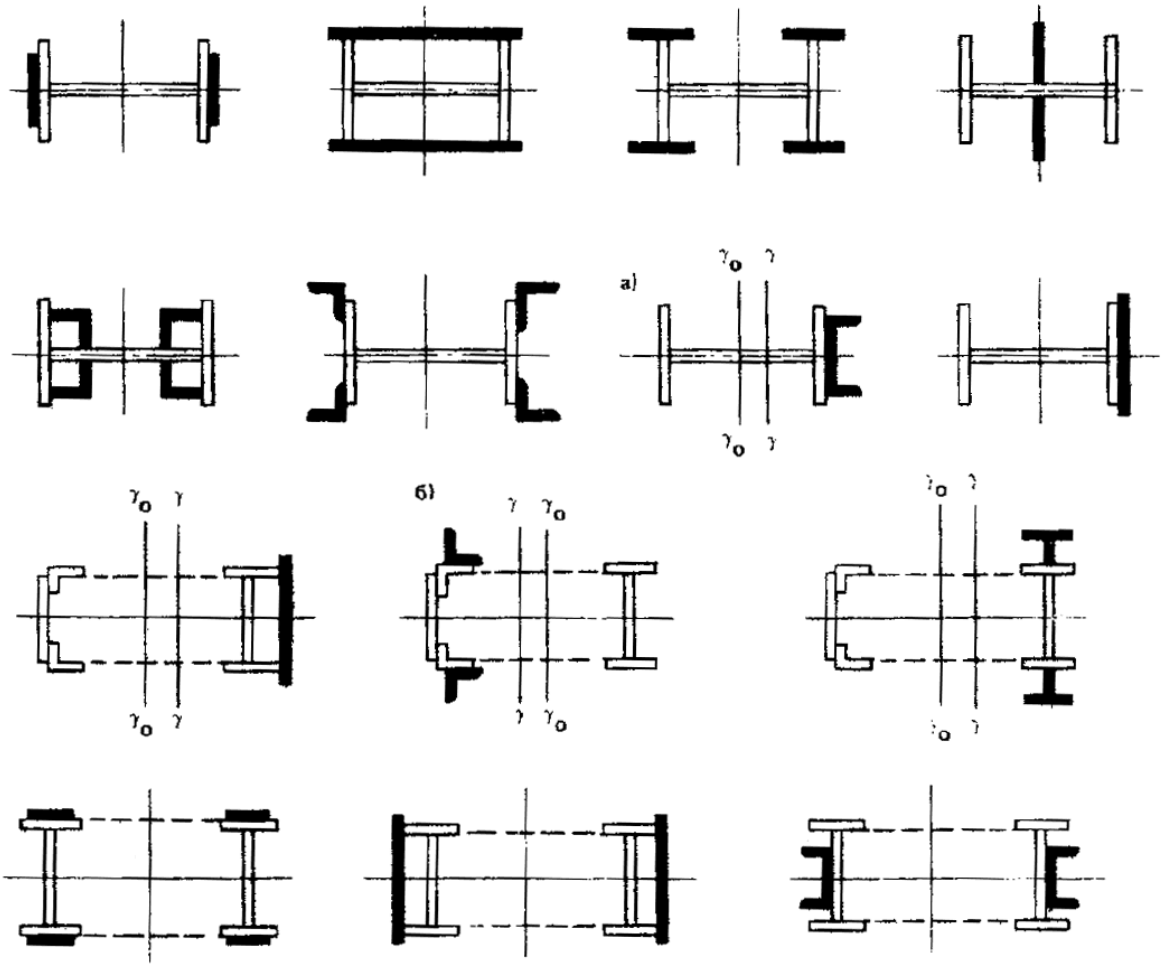


Рис. 6.2. Усиление колонн путей увеличения сечения

В зависимости от условий работы усиливаемые элементы конструкции разделены на четыре класса, отличающиеся нормой допустимых предельных пластических деформаций:

1. Сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях эксплуатации (подкрановые балки для кранов режима работы 7К, 8К, элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, непосредственно воспринимающие нагрузки от подвижных составов). Расчеты прочности элементов условно выполняются в предположении упругой работы стали.

2. Элементы конструкций, непосредственно воспринимающие подвижные, динамические или вибрационные нагрузки и не входящие в группу 1. Норма предельных пластических деформаций $\varepsilon_{p,lim} = 0{,}001$.

3. Элементы конструкций, работающих при статических нагрузках, кроме элементов, относящихся к классу 4, $\varepsilon_{p,lim} = 0{,}002$.

4. Элементы конструкций, работающие при статических нагрузках и удовлетворяющие требованиям пп. 5.19-5.21, 7.1-7.24 СНиП II-23-81* по обеспечению общей и местной устойчивости при развитых пластических деформациях, $\varepsilon_{p,lim} = 0{,}004$.

Для усиливаемых статически нагруженных элементов конструкций (особенно при использовании асимметричных односторонних схем усиления) критерий малых упругопластических деформаций ($\varepsilon_{p,lim}$ = 0,002) определяет зачастую значительно меньшие значения предельной несущей способности, чем критерий развитых пластических деформаций ($\varepsilon_{p,lim}$ = 0,004). Поэтому при усилении конструкций 3 класса целесообразно использовать дополнительные конструктивные мероприятия, обеспечивающие общую и местную устойчивость элементов и возможность отнесения конструкций к 4 классу (путем введения дополнительных связей, постановки дополнительных ребер жесткости и т. п.).

Статический расчет конструкций, усиливаемых путем увеличения сечений без полной разгрузки, необходимо выполнять:

- на нагрузки, действующие на конструкции во время усиления (начальное нагружение);
- на нагрузки, которые будут действовать на конструкции после их усиления, с выбором невыгодных вариантов их сочетания.

Уровень начального нагружения элементов ограничивается с целью обеспечения их несущей способности в процессе усиления в зависимости от нормы предельных пластических деформаций в соответствии с их классом. Этот уровень начального нагружения характеризуется коэффициентом β_0, представляющим собой абсолютную величину отношения наибольшего напряжения в усиливаемом элементе в момент усиления к его расчетному сопротивлению ($\beta_0 = |\sigma_{0,max}/R_{yo}|$). В общем случае сжатия (растяжения) с изгибом значения σ_0 определяются формулой

$$\sigma_0 = \frac{N_0}{A_{0n}} \pm \frac{M_{0x}}{I_{x0n}} y \pm \frac{M_{yo}}{I_{y0n}} x \quad , \tag{6.1}$$

где N_0, M_{0x}, M_{0y} - продольная сила и изгибающие моменты в наиболее нагруженном сечении элемента.

При расчете усиления гибких сжато-изогнутых или внецентренно сжатых стержней моменты M_0 вычисляются по деформированной схеме с учетом прогибов стержня

$$M_0 = N_0(e + f_0) \quad , \tag{6.2}$$

где $e = M'_0/N_0$ – начальный эксцентриситет продольной силы;

M'_0 – расчетное значение момента, вычисляемое по недеформированной схеме;

$$f_0 = N_0 e/(N_{0э} - N_0) \quad . \tag{6.3}$$

где f_0 – начальный прогиб элемента.

В случае $M_0 = 0$ необходимо учитывать малые случайные эксцентриситеты произвольного направления, определяемые формулой

$$e = m_0 W_0 / A_0 \quad , \tag{6.4}$$

где m_0 - случайное значение начального относительного эксцентриситета, принимаемое в функции гибкости λ_0, по графику (рис. 6.3); W_p - момент сопротивления неусиленного сечения.

Расчетное значение f_0 принимается не менее замеренного при натурном обследовании конструкций. При усилении искривленных центрально-сжатых стержней их направление определяется направлением начального прогиба.

Предельный уровень начального нагружения элементов для конструкций, усиливаемых с помощью сварки, в зависимости от класса конструкций ограничивается, как правило, условиями:

$\beta_0 \le 0{,}2$ для 1 класса;

$\beta_0 \le 0{,}4$ » 2 »;

$\beta_0 \le 0{,}8$ » 3 и 4 классов.

Если указанные условия не выполняются, то необходима либо предварительная разгрузка конструкций, либо использование специальных технологических мероприятий при усилении, обеспечивающих ограничение деформаций конструкций (в частности, сварочных).

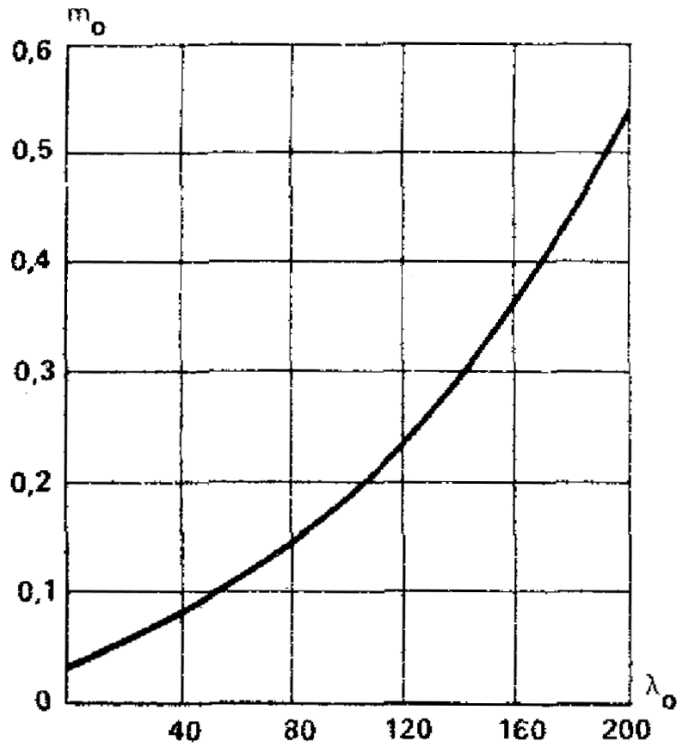


Рис. 6.3. Случайные эксцентриситеты

РАСЧЕТ УСИЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ

Проверку прочности элементов в зависимости от их класса осуществляют:
- для элементов 1, 2 и 3 классов – по критерию краевой текучести.
- для элементов 4 класса – по критерию развитых пластических деформаций.

Проверка прочности элементов по критерию краевой текучести выполняется по формулам:

- центрально-растянутые или сжатые симметрично усиленные элементы

$$N / A_n \le R_{yo}\gamma_c\gamma_N, \qquad (6.5)$$

где γ_N - коэффициент, учитывающий уровень и знак начальной осевой силы; для растянутых и сжатых элементов, усиленных без использования сварки $\gamma_N = 0,95$; для сжатых элементов, усиленных с помощью сварки,

$$\gamma_N = 0,95 - 0,25\beta_0;$$

- изгибаемые элементы

$$M / W_n \le R_{yo}\gamma_c\gamma_M; \qquad (6.6)$$

- сжато- и растянуто-изогнутые элементы

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{xn}} y \pm \frac{M_y}{I_{yn}} x \le R_{yo}\gamma_c\gamma_M. \qquad (6.7)$$

В формулах (6.6) и (6.7) для элементов 1 класса принимается $\gamma_M = 0,95$, для элементов 2 и 3 классов – $\gamma_M = 1$. При $N /(A_n R_{y0}) \ge 0,6$ значения γ_M принимаются равными γ_N.

Проверка прочности центрально-растянутых или сжатых несимметрично усиленных элементов осуществляется по формуле (6.7), при этом изгибающие моменты подсчитываются относительно осей *x* и *y* усиленного сечения.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ УСИЛЕНИЯ

Присоединение деталей усиления к конструкциям выполняется с помощью сварки, на болтах класса точности А и В или высокопрочных. В случае опасности возникновения хрупкого или усталостного разрушения присоединение осуществляется на высокопрочных болтах или болтах класса точности А.

При использовании сварки необходимо предусматривать меры по уменьшению и регулированию сварочных деформаций. Катеты швов для этого следует принимать минимально допустимыми по расчету (с учетом требований п. 12.8 СНиП II-23-81*). Рекомендуется также использование односторонних швов.

При усилении статически нагруженных конструкций 3 и 4 классов, эксплуатируемых при температуре выше минус 30° С в неагрессивной, среде, рекомендуется использовать прерывистые (шпоночные) швы (рис. 6.4, а). Шаг шпонок следует принимать максимально допустимым по расчету, но не свыше $80i_{min}$ в растянутых и $40i_{\min}$ в сжатых элементах усиления. Здесь $i_{\min}$ – минимальный радиус инерции элемента усиления относительно его собственной центральной оси.

Для конструкций 1 и 2 классов использование прерывистых швов не допускается. Расчет непрерывных участков шпоночных швов осуществляется на сдвигающее усилие

$$T_r = \frac{Q_{\max} S_r}{I} a_w, \qquad (6.8)$$

где Q_{max} – наибольшая поперечная сила в пределах длины элементов усиления.

Для сжатых стержней $Q_{max} \geq Q_{fic}$, где Q_{fic} - условная поперечная сила для усиленного стержня, определяемая по п. 5.8 СНиП II-23-81*;

S_r – статический момент элемента усиления относительно центральной оси усиленного сечения; a_w - шаг шпонок шва (см. рис. 6.4, а).

Минимальные длины участков шпоночных швов определяют по выражению

$$l_w = \frac{\alpha_w T}{\beta_w k_f R_w \gamma_w \gamma_c} + 1 \text{ см}, \qquad (6.9)$$

где α_w – коэффициент, характеризующий распределение усилий между швами, прикрепляющими элемент усиления к основному стержню и равный доле общего усилия *T,* относящийся к рассматриваемому шву. Здесь и далее под β_w, γ_w и R_w подразумеваются значения β_f и β_z, γ_{wf} и γ_{wz}, R_{wf} и R_{wz}, принимаемые по п. 11.2 СНиП II-23-81* для двух расчетных сечений. Длину участка шпоночного шва следует принимать не менее 50 мм.

Концевые участки шпоночных швов присоединения элементов усиления к основному стержню или узловым фасонкам должны обеспечивать передачу продольных усилий на элементы усиления и вовлечение их в совместную с основным стержнем работу. Их толщина может назначаться большей, чем толщина связующих швов. Минимальные длины концевых участков подсчитываются по формуле

$$l_{wk} = \frac{\alpha_w (T + N_r)}{\beta_w k_f R_w \gamma_w \gamma_c} = 1 \text{ см}, \qquad (6.10)$$

где $N_r = (N - N_0) A_r / A$; A_r – площадь поперечного сечения элемента усиления.

При усилении изгибаемых элементов *(N = 0)* следует принимать $N_r = 0{,}5 A_r R_{yr}$.

Минимальный катет сплошных швов (рис. 6.4, б), крепящих элементы усиления, определяется выражением

$$k_f = \frac{\alpha_w Q_{\max} S_r}{\beta_w I R_w \gamma_w \gamma_c}. \qquad (6.11)$$

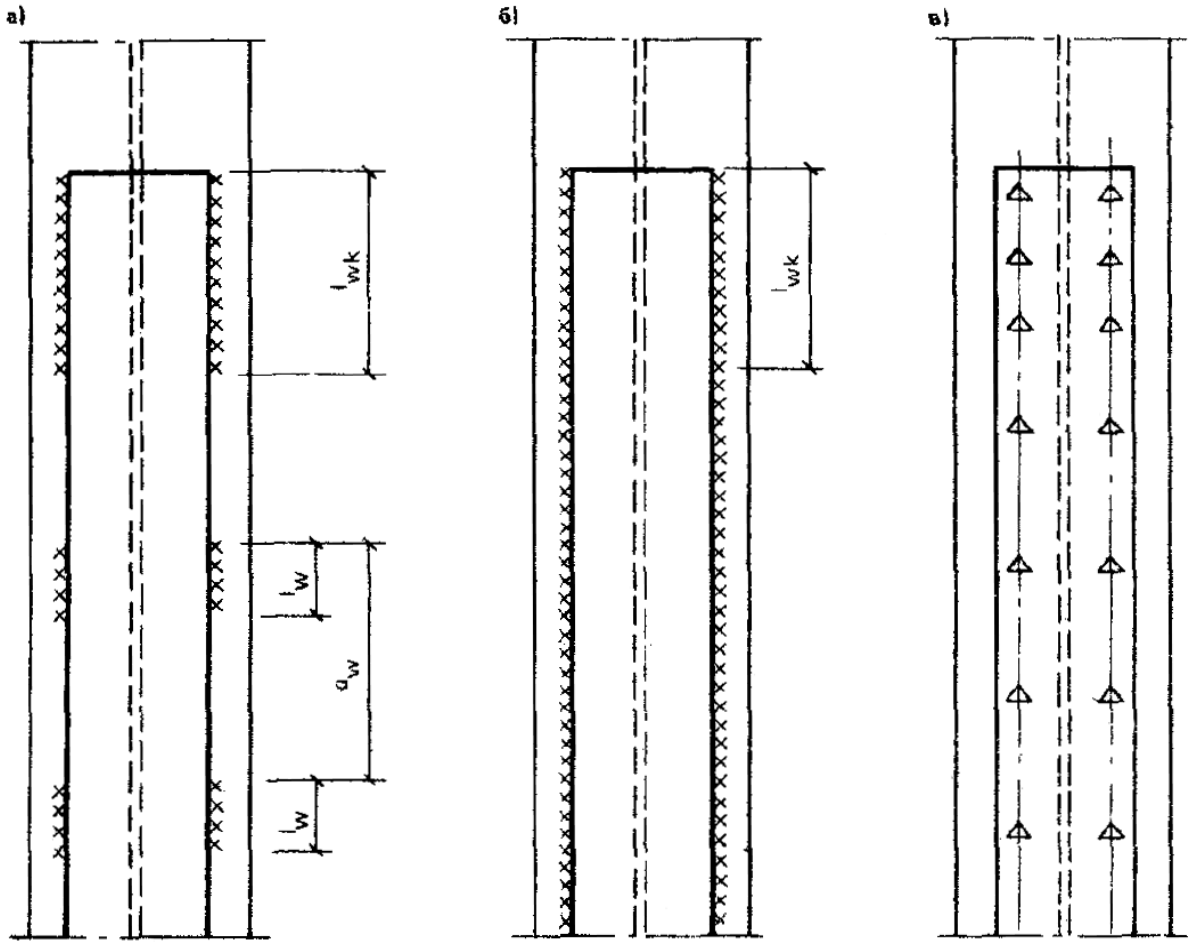


Рис. 6.4. Присоединение элементов усиления:
а – прерывистыми швами; ***б*** **–** сплошными швами; ***в*** – на болтах

Концевые участки швов могут назначаться с увеличенным катетом, а их прочность (при расчетной длине $85\beta_w k_f$) проверяется по формуле

$$\frac{\alpha_w Q_{\max} S_r}{\beta_w k_f I} + \frac{\alpha N_r}{85\beta_w^2 k_w^2} \le R_w \gamma_w \gamma_c . \qquad (6.12)$$

Применение болтов (рис. 6.4, *в*) для присоединения элементов усиления рекомендуется в случаях, когда:

- болтовые соединения технологически более удобны;
- материал усиливаемого элемента не допускает применения сварки;
- желательно избежать возникновения дополнительных сварочных напряжений и деформаций.

Проектировать соединения следует с учетом минимального ослабления сечений. С этой целью диаметр болтов следует принимать минимальным, а их размещение задавать со сбитым шагом по отношению к существующим болтам или заклепкам. Шаг промежуточных соединений принимается не бо-

лее 40i в сжатых и 80i в растянутых элементах усиления и определяется по формуле

$$a_{\text{в}} = \frac{[N_{\text{в}}]_{\min} I \gamma_c}{Q_{\max} S_r}, \qquad (6.13)$$

где $[N_{\text{в}}]_{\min}$ – минимальная несущая способность болта (по сдвигу, срезу или смятию, определяемая по п. 3.5 СНиП II-23-81*).

Прочность концевых участков соединений элемента усиления проверяется по формуле

$$\frac{N_r}{n} + \frac{Q_{\max} S_r}{I} a_{\text{в}} \le [N_{\text{в}}]_{\min}, \qquad (6.14)$$

где n – количество болтов на концевом участке соединения (см. рис. 6.4, в); $a_в$ – расчетный шаг болтов.

1.3. Задание

Запроектировать усиление ригеля (стропильной фермы) и колонны поперечной рамы промышленного здания.

1.4. Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы усиления стальных конструкций?
2. Что предшествует разработке проекта усиления?
3. Как назначают марку стали усиливаемой конструкции?
4. Какие приняты уровни загружения усиливаемых конструкций в зависимости от их класса?
5. Что такое приведенное расчётное сопротивление, как оно определяется?
6. Какие обычно используют способы присоединения элементов усиления?

Лабораторная работа № 7

РАСЧЁТНАЯ ПРОВЕРКА КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ХРУПКУЮ ПРОЧНОСТЬ

1.1. Цель работы

* Знакомство с методикой оценки опасности возникновения хрупкого разрушения стальных конструкций, расчётной проверкой на хрупкую прочность.

* Освоение способов повышения хладностойкости стальных конструкций.

1.2. Основные сведения из теории

На рис.7.1 показаны температурные зависимости основных параметров хрупкого и квазихрупкого разрушений стали: σ_T и σ_B — предел текучести и временное сопротивление стали, определяемые по стандартной методике; ψ — относительное сужение образца при разрушении стали в условиях одноосного растяжения; R_0 — сопротивление отрыву; B — доля волокнистого излома в разрушенном сечении элемента при наличии концентрации напряжений.

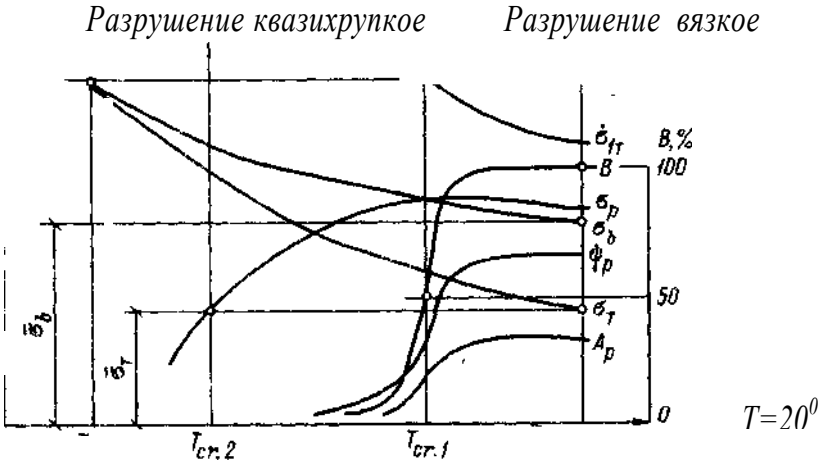


Рис.7.1. Температурные критерии разрушения и параметры прочности конструктивных форм низкой хладостойкости

Критическая температура перехода от вязких разрушений к квазихрупким обычно называется **первой критической температурой** T_{cr1}. При T_{cr1} изменяется механизм разрушения: косой (под углом 45°) излом при сдвиге сменяется прямым изломом с преобладанием отрыва. Обычно для количественного определения $T_{cr\,1}$ используют условие снижения волокнистости в изломе до 50 % площади всего излома.

При снижении температуры ниже T_{cr1} т.е. в области квазихрупких разрушений, волокнистость в изломе быстро уменьшается, снижаются и номинальные

разрушающие напряжения. Условно считается, что в момент установления равенства разрушающего напряжения при низкой температуре пределу текучести стали при комнатной температуре происходит переход от квазихрупких разрушений к хрупким. Температура этого перехода называется **второй критической температурой** T_{cr2}. По сути дела, разрушение, конечно, остается квазихрупким, но величина локальных пластических деформаций у надреза (или трещины) становится настолько малой, что разрушение происходит практически при упругой работе материала. Излом при T_{cr2} оказывается полностью кристаллическим, без шевронного узора, волокнистость в изломе практически равна нулю.

Нормативная методика расчета элементов стальных конструкций на прочность с учетом хрупкого разрушения

В соответствии с ГОСТ 16350—80 территория нашей страны районирована по воздействию низких температур на технические изделия и материалы на I_1 I_2, II_2, II_3, II_4 и II_5 районы (отличаются значениями расчетных низких температур). При расчете стальных конструкций на прочность с учетом хрупкого разрушения за расчетную низкую температуру эксплуатации $T_э$, согласно указаниям СНиП II-23-81* со ссылкой на СниП 2.01.01—82 (Строительная климатология и геофизика), должна приниматься средняя температура наиболее холодной пятидневки. В табл. 1 приложения в соответствии действующим СниП 23-01-99* (Строительная климатология) приведена температура наиболее холодной пятидневки ^oC с обеспеченностью 0,98 для некоторых городов нашей страны.

По указанию СниП II-23-81* расчетная проверка на хрупкую прочность для центрально и внецентренно растянутых элементов, а также зон растяжения изгибаемых элементов, имеющих технологические дефекты конструктивных форм, обладающих пониженной хладостойкостью (табл. 3 приложения) выполняется, если температура при эксплуатации может быть ниже критической температуры хрупкости (табл. 2 приложения). Проверку на прочность с учетом сопротивления хрупкому разрушению следует выполнять по формуле

$$\sigma_{\max} \le \beta R_{uo} / \gamma_u , \tag{7.1}$$

где σ_{max} – наибольшее растягивающее напряжение в расчетном сечении элемента, определяемое по сечению нетто без учета коэффициентов динамичности и снижения, расчетных сопротивлений; β – коэффициент, учитывающий снижение конструкционной прочности стали при пониженных температурах.

Коэффициент β в [11] рекомендуется определять по формуле

$$\beta = \exp[2\psi_т (T - T_{cr})] , \tag{7.2}$$

где T – расчетная отрицательная температура эксплуатации, принимаемая как средняя температура наиболее холодной пятидневки; T_{cr} – критиче-

ская температура хрупкости, определяемая по табл. 2 в зависимости от толщины элемента *t,* типа и модификации конструктивной формы (табл. 3); $\psi_т$ – коэффициент температурной зависимости, принимаемый 0,005 град $^{-1}$ для стали марки Вст3кп, 0,0044 град $^{-1}$ для стали марки 09Г2С.

Для низколегированных сталей других марок коэффициент $\psi_т$ допускается определять по линейной интерполяции в соответствии с расчетным сопротивлением R_{yo} , используя $\psi_т = 0{,}0041$ при $R_{yo} = 234$ Мпа и $\psi_т = 0{,}0028$ при $R_{yo} = 310$ Мпа.

Если условие (7.1) не выполняется или коэффициент β вычисляемый по формуле (7.2), оказывается меньше предельно допускаемой величины $\beta^* = R_{yo}/R_{uo}$, дальнейшая эксплуатация конструкции не разрешается без применения специальных мер повышения хладостойкости или снижения напряжений.

Специальные способы усиления конструкций с целью повышения их хладостойкости приведены в табл. 4 приложения. В случае применения специальных способов усиления, уменьшающих площадь расчетного сечения рабочего элемента, необходимо произвести проверку несущей способности элемента по ослабленному сечению. При недостаточной несущей способности площадь сечения элемента следует увеличить.

Учет влияния коррозионных повреждений на снижение сопротивляемости хрупкому разрушению при пониженных температурах (при остаточной после коррозии толщине 5 мм и менее, или если коррозионный износ превышает 25%) следует производить по изменению критической температуры хрупкости T_{cr}. В этом случае T_{cr} , определенную по табл. 2 прил., следует увеличить на величину смещения ΔT_{cr} . принимаемую по табл. 5 приложения в зависимости от марки стали.

По методу ЦНИИПСКа [8] коэффициент β, учитывающий изменение способности стали к макроскопической деформации при понижении температуры от T_{cr1} до T_{cr2} , следует определять по формуле

$$\beta = 0{,}35\,\frac{T_э - T_{cr2}}{T_{cr1} - T_{cr2}} + 0{,}65. \qquad (7.3)$$

Кроме того, по методу ЦНИИПСКа предлагается вводить температурные поправки, повышающие критическую температуру хрупкости:

* $\Delta T^{св}_{cr1} = +20^o$ К, $\Delta T^{св}_{cr2} = +30^o$ К за счёт термического влияния сварки;

* $\Delta T^{св}_{cr1} = +20^o$ К, $\Delta T^{св}_{cr2} = +40^o$ К при динамическом воздействии нагрузки;

* $\Delta T^{св}_{cr1} = +20^o$ К, $\Delta T^{св}_{cr2} = +30^o$К при технологических операциях, приводящих к локальному наклёпу стали (гильотинная резка кромок, пробивка отверстий, гибка и правка прокатных элементов);

* $+10^o$ К и $++20^o$ К температурные запасы вязкости для первой и второй критических температур.

1.3. Задание

Проверить на прочность с учетом сопротивления хрупкому разрушению узел стропильной фермы, имеющий дефект изготовления (повреждение) и предложить способ усиления конструкции с целью повышения её хладностойкости – задание прилагается.

1.4. Контрольные вопросы

1. По каким параметрам определяется первая критическая температура хрупкости?

2. Какие основные факторы провоцируют проявление хрупкого разрушения?

3. В чём состоит принцип повышения хладностойкости конструктивных форм?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Расчетные низкие температуры (СниП 23-01-99*) для некоторых городов РФ (с обеспеченностью 0,98**)**

Город	$T_э$, ^{0}C	Город	$T_э$, ^{0}C	Город	$T_э$, ^{0}C
Архангельск	— 34	Казань	- 36	Санкт-Петербург	- 30
Барнаул	— 41	Комсомольск-на-Амуре	- 37	Саратов	- 30
Вологда	— 38	Красноярск	- 43	Сыктывкар	- 39
Воронеж	— 28	Нижний Новгород	- 34	Томск	- 44
Екатеринбург	— 38	Новосибирск	- 42	Чита	- 42
Иркутск	— 38	Омск	- 39	Якутск	- 57
Калуга	— 30	Орёл	- 30	Ярославль	- 34
Москва	— 30	Пенза	- 32		
Мурманск	— 29	Пермь	- 38		

Таблица 2. Критическая температура $T_{cr,}$ ^{o}C для конструктивных форм, обладающих низкой хладостойкостью

Толщина элементов, мм	T_{cr} для конструктивных форм в конструкциях из стали марок (см. табл. 3)					
	СтЗсп			09Г2С		
	А1	В1, Д1, Д3	Г1	А1, А2, Б2, Б3, Д2, Д1	Д1, Д3	А1, А2, Б1, Б3, Б2, Д2, Д4
10	-35	-35	-39	-43	-51	-
15	-22	-25	-29	-33	-40	-75
20	-13	-16	-19	24	-28	-64
25	-4	-7	-	-14	-16	-52
30	+6	+3	-	-4	-5	-40
35	+16	+12	-	+5	+7	-29

Таблица 3. Конструктивные формы, обладающие низкой хладостойкостью

Тип	Принципиальная схема	Модификация конструктивной формы

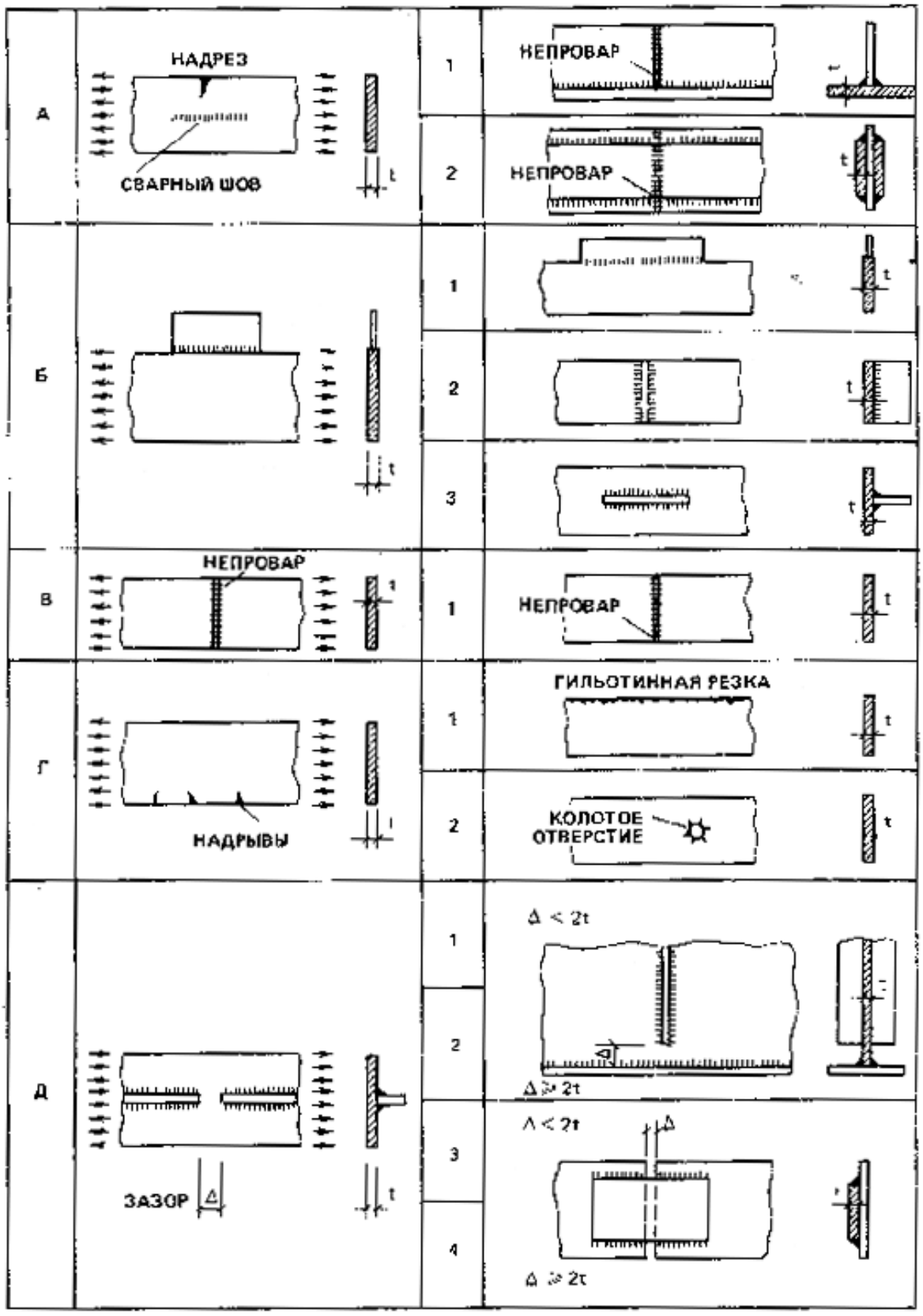
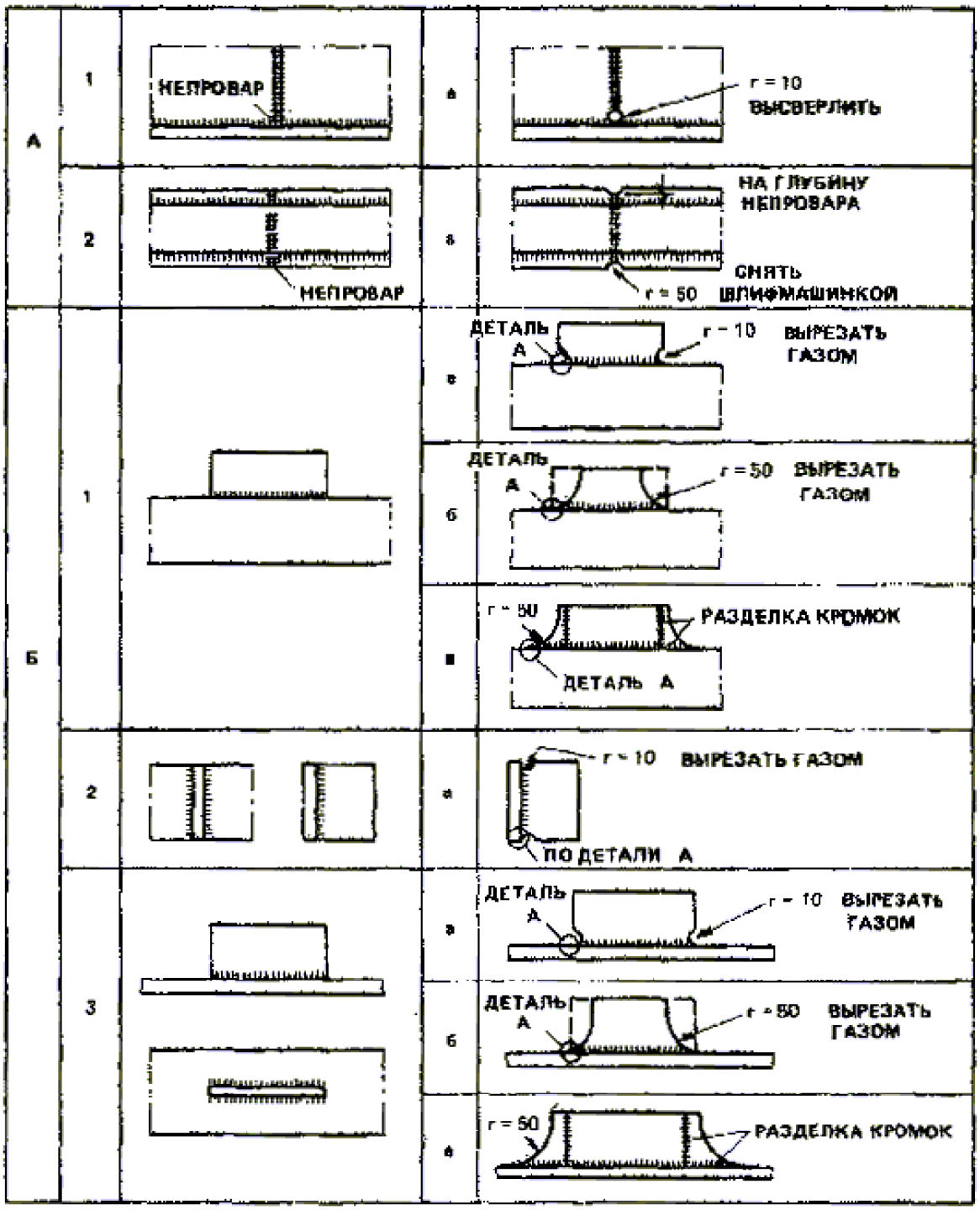


Таблица 4. Приемы специального усиления элементов конструкций с целью повышения их хладостойкости

Тип	Конструктивная форма	Варианты усиления



Окончание табл. 4

Тип	Конструктивная форма	Варианты усиления
В	1	а
Д	1	а
	2	
	3	а
	4	

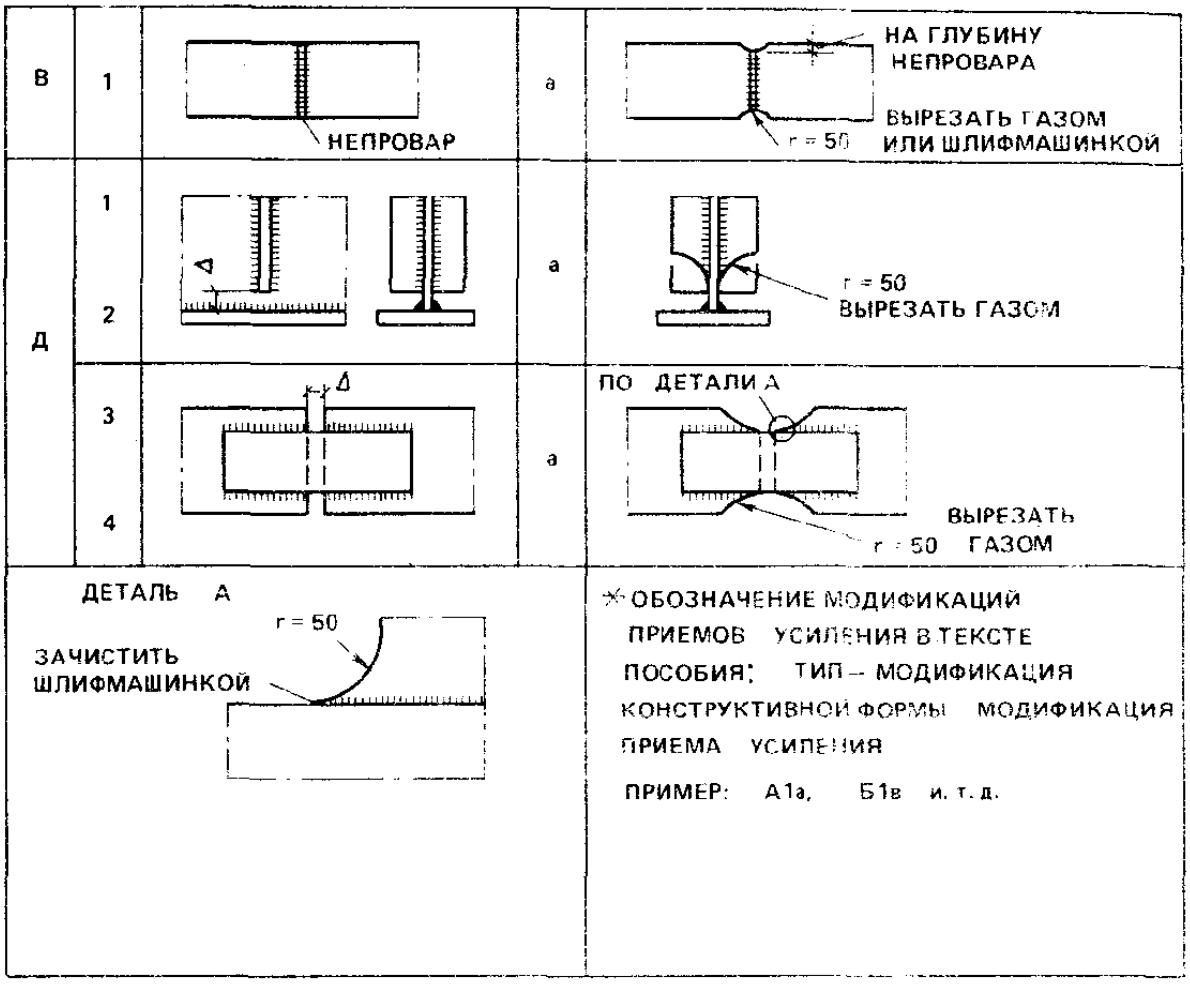


Таблица 5. Величины смещения критической температуры хрупкости

Марка стали	Вст3	09Г2	10Г2С1	18Г2Афпо
ΔT_{cr} °C	15	20	25	30

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП П-23-81*. Стальные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 96 с.

2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 36 с.

3. СНиП 2.01.07-85. Дополнения. Раздел 10. Прогибы и перемещения. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 7 с.

4. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 132 с.

5. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 27 с.

6. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб, заведений; под ред. Ю.И. Кудишина. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 688 с.

7. Металлические конструкции. ВЗ т. Т.2. Конструкции зданий: учеб. для строит. вузов; Под ред. В.В. Горева. – М. : Высш. шк., 1999. – 528 с.

8. Проектирование металлических конструкций (специальный курс): учебное пособие для вузов /Под ред. В.В. Бирюлева. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.

9. Металлические конструкции. В 3 т. Т.З. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений.(Справочник проектировщика) / Под общ. ред. В.В.Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1999. – 528 стр.

10. Методические указания по обследованию производственных зданий и сооружений тепловых электростанций, подлежащих реконструкции (МУ 34-70-105-85)/ СПО «Союзтехэнерго». – М.: 1985. – 52 с.

11. Пособие по пректированию усиления стальных конструкций (к СНиП П-23-81*) / Укрниипроектстальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 159 с.

12. Рекомендации по учёту влияния дефектов и повреждений на эксплуатационную пригодность стальных конструкций производственных зданий / ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова. – М.: 1987. – 45 с.

13. Рекомендации по обследованию стальных конструкций производственных зданий / ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова. – М.: 1988. – 48 с.

14. Рекомендации по оценке надёжности строительных конструкций по внешним признакам. ЦНИИПромзданий Госстроя СССР. – М.: 1989. – 41 с.

15. Комплексная методика по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий (МДС 13-20) / ОАО «ЦНИИпромзданий». – М.: 2004. – 64 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение..... 3

Лабораторная работа № 1
ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ..... 4

Лабораторная работа № 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ
С УЧЁТОМ ВЫЯВЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ..... 11

Лабораторная работа №3
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА КОНСТРУКЦИЙ
И СОЕДИНЕНИЙ. НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ..... 16

Лабораторная работа № 4
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА КОНСТРУКЦИЙ..... 23

Лабораторная работа №5
ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ..... 29

Лабораторная работа №6
ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ СОХРАНЯЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ.... 39

Лабораторная работа № 7
РАСЧЁТНАЯ ПРОВЕРКА КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ
НА ХРУПКУЮ ПРОЧНОСТЬ..... 50

Приложение..... 54

Библиографический список..... 58

Учебное издание

Панин Анатолий Васильевич

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, НАДЁЖНОСТЬ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

Лабораторный практикум

Рекомендовано редакционно-издательским советом
Воронежского государственного
архитектурно-строительного университета
для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство»

Подписано в печать 09.03.2010. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 3,75.
Усл.-печ. л. 3,76. Бумага писчая. Тираж 210 экз. Заказ №

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84